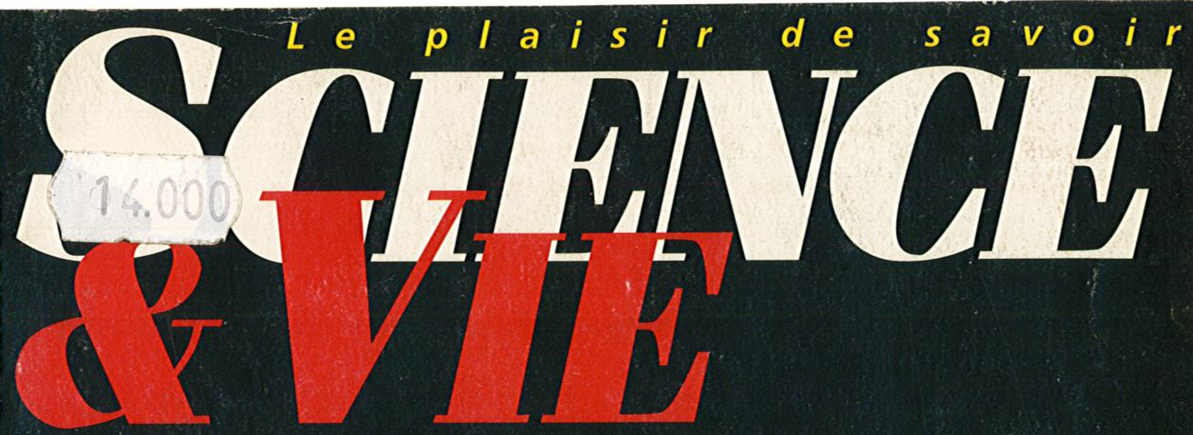
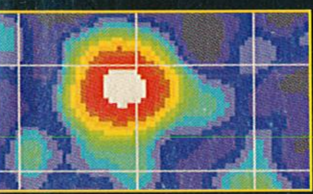


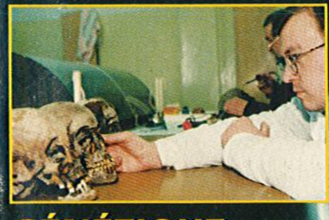
MENSUEL • N° 970 • JUILLET 1998



SANTÉ
Les vaccins du futur



DÉCOUVERTE
Un mini-big bang dans l'Univers



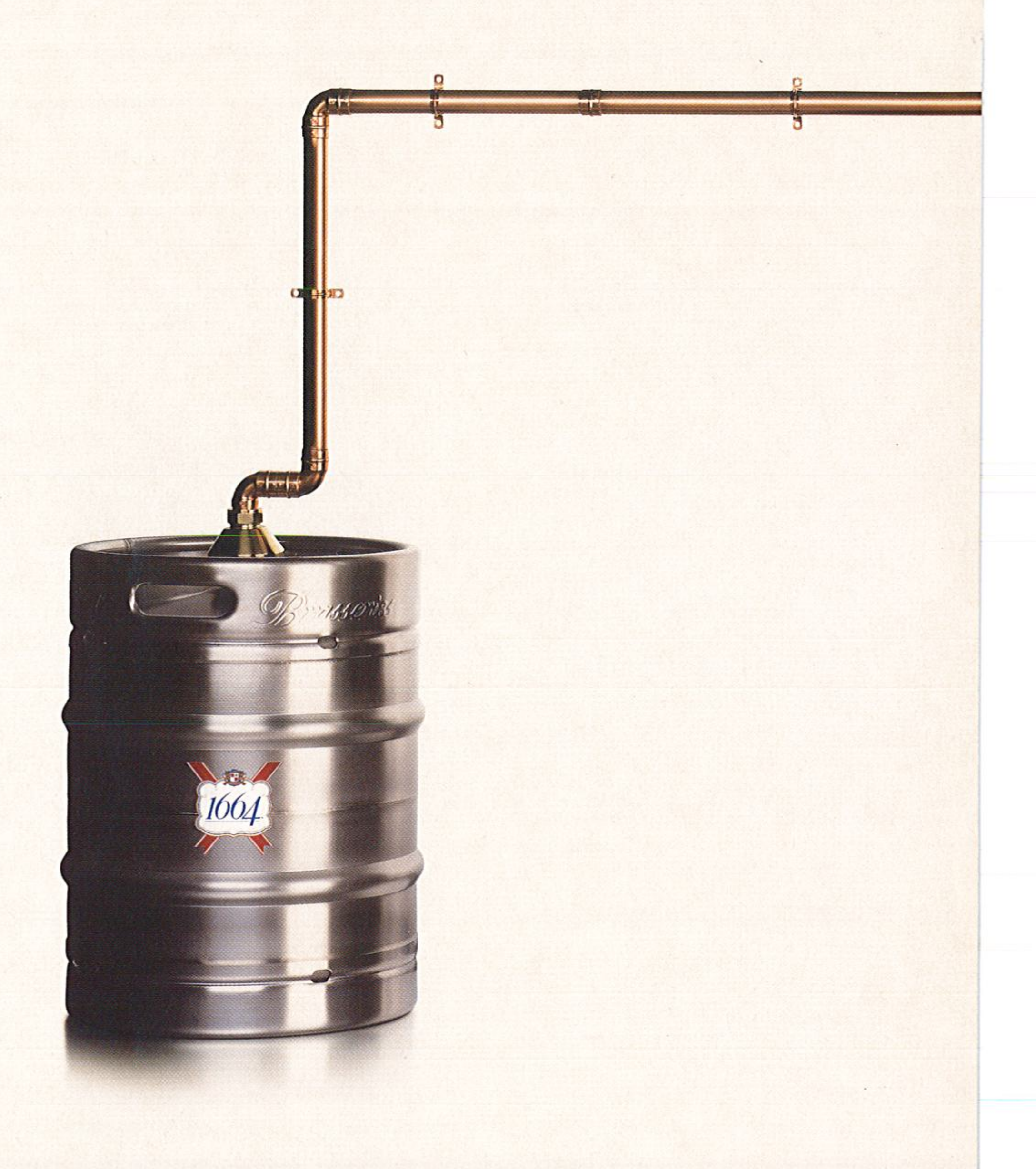
GÉNÉTIQUE
Est-ce bien Nicolas II qu'on va enterrer ?

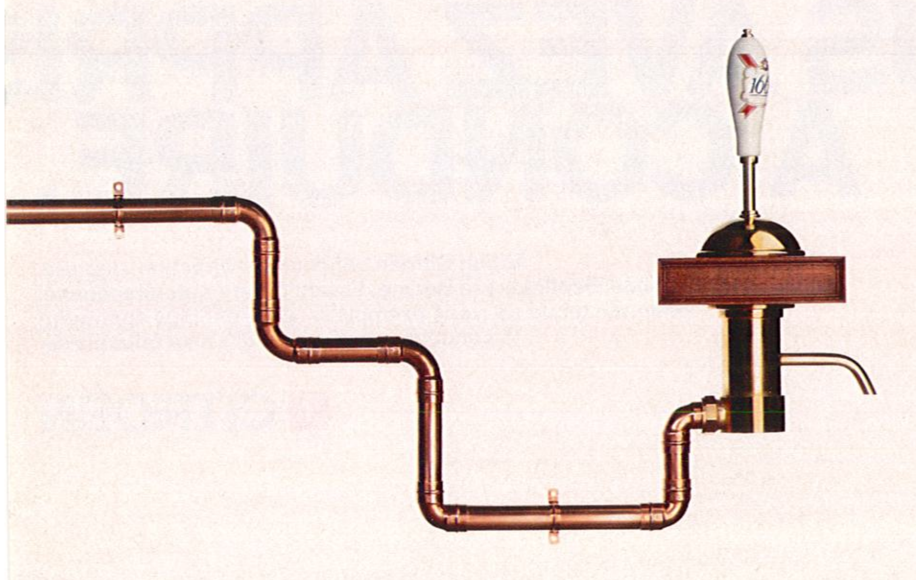
EXCLUSIF
Les risques inconnus des crèmes solaires

Pourquoi y a-t-il quelque chose plutôt que rien ?

COMMENT LE VIDE A CRÉÉ LA MATIÈRE

T 2578 - 970 - 23,00 F


1664



1. Supprimer le bar en acajou.

2. Faire disparaître le mobilier Art Déco.

3. Enlever le lambris en bois précieux.

Bref, garder l'essentiel.



Purement et simplement.

NSOMMEZ AVEC MODÉRATION. BIÈRE SPÉCIALE 6,3% ALC.



SIPA PRESS

Manifestation en faveur du nucléaire en Inde (1996).

La relance de la prolifération nucléaire

Les cinq essais nucléaires souterrains que l'Inde a effectués les 11 et 13 mai dernier démontrent les limites des pressions que peuvent exercer les cinq pays déjà détenteurs de l'arme atomique quand il s'agit d'en empêcher la prolifération. Leur action se heurtera à la volonté des Etats pour lesquels la possession de la bombe constitue la preuve de leurs capacités techniques et marque leur accession à un statut de puissance régionale ou internationale.

L'Inde se pose ainsi en interlocuteur de la Chine, autre puissance nucléaire de la région, et en rival déclaré de son ennemi héréditaire, le Pakistan. Lequel n'a pas manqué de répliquer, en procédant à cinq essais nucléaires, le 28 mai.

La diplomatie américaine s'est révélée impuissante. Tout comme le seront les sanctions économiques, d'ailleurs temporaires, qu'a prises aussitôt Washington : trop d'intérêts commerciaux sont en jeu. On l'a déjà constaté avec la Chine.

L'exemple de l'Inde et du Pakistan risque ainsi d'être suivi par d'autres pays, ce qui relancerait la course aux armements. Les capacités de l'Iran s'apparentent à celles des deux Etats du sous-continent indien. Et, de même que l'Irak et la Libye, Téhéran peut prétendre que, puisqu'Israël détient la capacité nucléaire, ses adversaires régionaux ne peuvent se priver d'un tel moyen de dissuasion. Or, les Etats-Unis, qui se posent pourtant en gendarmes nucléaires du monde, n'ont jamais obligé l'Etat juif à renoncer à l'arme atomique.

Paradoxalement, c'est la fin de la guerre froide qui a contribué à relancer la course aux armements. Sans emploi ou mal employés, mal payés, les atomistes et les spécialistes des fusées de l'ex-URSS cherchent et trouvent sans peine des pays prêts à rémunérer leurs talents.

Les moyens les plus sophistiqués se révèlent parfois inopérants pour exercer un contrôle à l'échelle planétaire. Les préparatifs des Indiens ont ainsi totalement échappé aux satellites espions américains Key Hole, pourtant capables de photographier des objets de la dimension d'un livre de poche.

Mais les Indiens le savaient. Ils connaissaient surtout les heures de passage des Key Hole sur leur territoire et ont donc programmé ou interrompu leurs travaux en conséquence. Ce qui a empêché les Américains d'orchestrer au préalable une campagne internationale contre New Delhi. **S & V**



Le plaisir de savoir

n° 970 • juillet 1998

1, rue du Colonel-Pierre-Avia
75503 Paris Cedex 15
Tél. : 01 46 48 48 48
Fax : 01 46 48 48 67
E. Mail : svmens@excelsior.fr

Recevez Science & Vie chez vous. Vos bulletins d'abonnement se trouvent pp. 41 et 147. Organigramme p. 7.

Couverture : Superstock
En fenêtres : Fotogram-Stone/S. Peters ; D.R. ; SEL/Sipa Press



J. FEINE

SOLEIL
Attention sur la plage! L'indice de protection des crèmes solaires est trompeur, et elles ne mettent pas forcément à l'abri d'un cancer de la peau. p. 92

O. GRUNEWALD

TORTUES
Chaque année, plusieurs milliers de tortues luths viennent se reproduire sur une petite plage de Guyane. Pourtant, que de dangers! p. 74

MONTRES
Les piles des montres à quartz sont un facteur de pollution. On les remplace par des cellules solaires, des alternateurs et même des couples thermo-électriques. p. 134

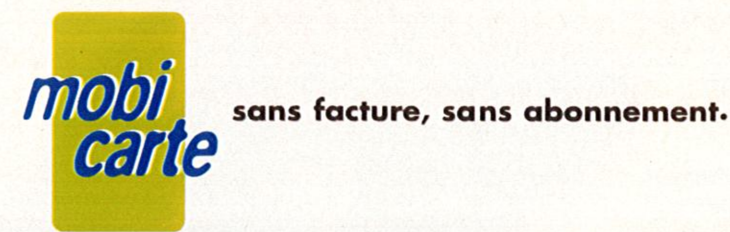
DR

GAGARINE
Youri Gagarine, le premier cosmonaute, est mort il y a trente ans dans un accident d'avion. On a tenté d'expliquer le drame de mille façons. La réalité est tout autre. p. 124

NOVOSTI

HYPERNOVA
Explosion dans la Grande Ourse, la plus fantastique depuis le big bang. Que nous révèle cette "hypernova" sur la naissance de l'Univers? p. 66

DR



on veut un mobile, pas un

Faut-il refuser la vaccination?

■ *« Je vous félicite pour le dossier documenté sur l'alimentation biologique [Science & Vie n° 966, p. 74],* écrit M. Michel Lehericey, de Vire (Calvados). *Mais je m'étonne que vous associez, un peu rapidement à mon sens, les "intégristes" à ceux qui refusent la vaccination. D'autant plus que vous avancez comme argument le risque de voir resurgir des maladies comme la tuberculose, si la vaccination par le BCG fait défaut. Franchement, s'il est des chiffres qui ne plaident pas en faveur du BCG, ce sont bien ceux des statistiques sur l'évolution de la tuberculose depuis un siècle. Aussi je comprends mal cette haine qui transparaît dans vos propos contre les personnes qui s'interrogent sur la nécessité de la vaccination. […] »*


ENQUÊTE

Faut-il manger bio?

■ Opportunité commerciale pour les uns, choix éthique pour les autres, l'alimentation "biologique" a le vent en poupe. Ses produits ont-ils meilleur goût? Bénéfiques pour l'environnement, le sont-ils aussi pour la santé? En tout cas, l'agriculture du XXIe siècle ne pourra les ignorer.

L'exemple du BCG comme vaccin apte à faire disparaître une maladie est en effet mal choisi, puisque ce vaccin, efficace contre les formes graves telles que la méningite tuberculeuse du jeune enfant, ne l'est que dans 70 à 80 % des cas, au mieux, pour les tuberculoses pulmonaires, dont il limite cependant l'intensité. Mais les exemples ne manquent pas d'une prévention quasi totale des maladies infectieuses par la vaccination. La variole est éradiquée, la poliomyélite en voie de l'être, la diphtérie ou le tétanos ont reculé (voir, dans ce numéro, l'article sur les vaccins). Le but de la comparaison était non pas de magnifier le geste vaccinal mais de rappeler la responsabilité collective dans la lutte contre les maladies contagieuses, en agriculture comme en médecine. Le qualificatif d'intégriste, placé entre guillemets, ne visait qu'à souligner l'intransigeance des pionniers de l'alimentation biologique et leur opposition sans concession aux produits de synthèse.

Sans modération...

■ *« Si le fait de s'interdire de consommer des bonnes choses provoque une frustration nuisible pour la santé [Science & Vie n° 967 p. 72], n'est-il pas tout aussi frustrant (sinon plus) de consommer… avec modération ?* se demande M. Philippe Masson, de Sens (Yonne). *Ceux qui sont capables de savourer un carré de chocolat sans finir la plaque ou de boire un verre sans éprouver aussitôt l'envie de recommencer ont toutes les raisons d'écouter les conseils des médecins. Faisant partie de ceux dont la volonté diminue après la première bouchée ou la première gorgée, je préfère modérer… les occasions de consommer sans modération. »*


NUTRITION

Le plaisir, c'est la santé

Pourtant, pour le vin, par exemple, seule une consommation régulière et modérée de deux ou trois verres ballons (de 12 cl) par jour réduirait la mortalité de toute cause de 30 %. Autre exemple de modération conseillée : pas un jour sans fruit ni légume…

Milliards, pas millions

■ Comme nous le fait remarquer M. Paul Bellavoine, dans l'article "L'invasion des satellites" (n° 968, p. 138), les coûts et les investissements des nouveaux systèmes de télécommunications doivent être exprimés en milliards de dollars et non en millions ainsi que nous l'avons écrit.

Les Bushmen parlent-ils la "langue mère"?

■ *« Ainsi, les Bushmen d'Afrique du Sud (les Khoisans) seraient les descendants directs de l'Adam génétique, ou, plus exactement, ceux dont le patrimoine génétique aurait le moins évolué depuis cet ancêtre commun [Science & Vie* n° 967, p. 87], écrit M. Charles Guglielmetto, de Villeurbanne (Rhône). *Or, toutes les langues actuelles découleraient d'une première langue parlée par* Homo sapiens, *le protolangage [Science & Vie Hors Série* n° 200, p. 120]. [...] *L'évolution et la grande diversité de ces langues seraient la conséquence de l'émigration d'*Homo sapiens *du continent africain vers les autres continents (hypothèse "out of Africa"), où chaque groupe humain évolua séparément, enrichissant son langage de mots nouveaux sous de multiples influences.* [...] *L'isolement dans lequel ont vécu les Bushmen, dans l'immense et inhospitalier désert du Kalahari,* [...] *peut expliquer le peu d'évolution génétique entre eux et le premier* Homo sapiens. *Comme ce peuple de chasseurs cueilleurs pratique peu l'élevage et pas du tout l'agriculture, et ne connaît aucune technologie particulière, son langage a probablement peu évolué depuis l'origine. Alors, le protolangage, considéré par tous les linguistes comme ayant disparu,* [...] *pourrait-il être le langage des Bushmen d'aujourd'hui, au moins en partie?* [...] *Ses particularités – ses claquements de langue – font irrésistiblement penser à l'émergence d'un langage articulé. Si, sur le plan génétique, de 15 à 20 % des Bushmen portent le chromosome Y ancestral, pourquoi n'auraient-ils pas également conservé un pourcentage équivalent du protolangage? »*


DOSSIER ADAM

Le père de l'humanité

Cette hypothèse n'est pas retenue par les linguistes, car l'évolution des langues est beaucoup plus rapide que celle des espèces. Un locuteur qui ferait un bond de mille ans (en moyenne) dans le temps ne comprendrait plus les locuteurs qui parlaient sa langue. En revanche, l'origine des "clics" de la langue des Bushmen, dont certains ont été transmis aux langues bantoues, reste un mystère.

SCIENCE & VIE

Publié par Excelsior Publications SA Capital social : 11 100 000 F. Durée : 99 ans. 1 rue du Colonel-Pierre-Avia, 75503 Paris Cedex 15. Tél. : 01 46 48 48 48. Fax. : 01 46 48 48 67. E. mail : svmens@excelsior.fr Adresse télégraphique : Sienvie Paris. Principaux associés : Yveline Dupuy, Paul Dupuy.

DIRECTION, ADMINISTRATION

Président-directeur général : **Paul Dupuy.** Directeur général : **Jean-Pierre Beauvalet.** Directeur général adjoint : **François Fahys.** Directeur financier : **Jacques Béhar.** Directeur marketing et commercial : **Marie-Hélène Arbus.** Directeurs marketing et commercial adjoints : **Jean-Charles Guérault, Patrick-Alexandre Sarradeil.** Directeur des études : **Roger Goldberger.** Directeur de la fabrication : **Pascal Rémy.**

RÉDACTION

Rédacteur en chef : **Jean-René Germain,** assisté d'**Elisabeth Latsague.** Rédacteurs en chef adjoints : **Jean-François Robredo, Didier Dubrana, Gérard Morice.** Chef des informations : **Isabelle Bourdial.** Secrétaire général de la rédaction : **Norbert Régina.** Secrétaires de rédaction : **Françoise Sergent, Agnès Marillier, Jean-Luc Glock.** Chefs de rubrique : **Philippe Chambon, Germain Chambost, Leïla Haddad.** Rédacteurs : **Renaud de La Taille, Pierre Rossion, Marie-Laure Moinet, Henri-Pierre Penel, Hélène Guillemot, Roman Ikonicoff, Marie-Sophie Germain, Christelle Célarié.** Conception graphique, direction artistique : **Gilles Moine.** Maquette : **Lionel Crooson, Valérie Samuel.** Service photo : **Anne Levy.** Documentation/Internet : **Marie-Anne Guffroy.** Renseignements lecteurs : **Monique Vogt.** Correspondante aux Etats-Unis : **Sheila Kraft,** 11259, Barca Boulevard, Boynton Beach, Florida 33437, Etats-Unis, tél. : (00) 1 561 733 9207, fax : (00) 1 561 733 7965.

ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO

Loïc Chauveau, Yves Delaye, Denis Delbecq, Marie-Sophie Gessat, Philippe Henarejos, Géraldine Magnan, Véronique Rochewsky, Sophie de Salettes.

RELATIONS EXTÉRIEURES

Michèle Hilling, Maud Bannier.

DÉPARTEMENT INTERNATIONAL

Directeur : **Marie-Ange Rouquet-Dezellus,** tél. : 01 46 48 47 26, fax : 01 46 48 19 19 et 01 46 48 49 39. Chef de produit junior : **Corinne Bourbotte,** tél. : 01 46 48 47 13.

PUBLICITÉ

Excelsior Publicité Interdéco, 23 rue Baudin, BP 311, 92303 Levallois-Perret Cedex, tél. : 01 41 34 82 08. Directrice commerciale : **Isabelle Finkelstein.** Directrice de la publicité : **Véronique Moulin.** Directeur de clientèle : **Cedric Larrieu.** Chef de publicité : **Sibylle Dubost.** Assistante de publicité : **Géraldine Chaze.**

À NOS LECTEURS

Renseignements : **Monique Vogt,** tél. : 01 46 48 48 66. Commande d'anciens numéros et de reliures : **Chantal Poirier,** tél. : 01 46 48 47 18.

SERVICES COMMERCIAUX

Chef de produit marketing : **Charlotte Negréanu.** Chef de produit ventes : **Marie Cribier.** Téléphone vert : 0 800 43 42 08 (réservé aux dépositaires). Belgique AMP, 1 rue de la Petite-Isle, 1070 Bruxelles. Abonnements et marketing direct : **Patrick-Alexandre Sarradeil.**

ABONNEMENTS

Relations clientèles abonnés : service abonnements, 1 rue du Colonel-Pierre-Avia, 75503 Paris Cedex 15, tél. : 01 46 48 47 08 (à partir de 9 h). Tarifs d'abonnements sur simple demande téléphonique au 01 46 48 47 17. Aux Etats-Unis et au Canada : Periodica Inc. – C.P. 444, Outremont, Québec, Canada H2V 4R6. En Suisse : Naville, case postale 1211, Genève 1, Suisse. En Belgique : Press-Abonnements, avenue des Volontaires, 1160 Bruxelles. Autres pays : nous consulter.

À NOS ABONNÉS

Pour toute correspondance relative à votre abonnement, envoyez-nous l'étiquette collée sur votre dernier envoi. Changement d'adresse : veuillez joindre à votre correspondance 3 F en timbres-poste français ou règlement à votre convenance. Les noms, prénoms et adresses de nos abonnés sont communiqués à nos services internes et organismes liés contractuellement avec *Science & Vie* sauf opposition motivée. Dans ce cas, la communication sera limitée au service des abonnements. Les informations pourront faire l'objet d'un droit d'accès ou de rectification dans le cadre légal.



Le cancer en France

L'INSERM nous demande de préciser que les cartes de l'épidémiologie du cancer en France publiées dans notre n° 968, p. 97, et illustrant les articles des Prs Jean-Marie Andrieu et Pierre Colonna (unité de cancérologie de l'hôpital Laennec), sont issues de l'ouvrage réalisé par Ali Rezvani, Annie Mollié, Françoise Doyon et Hélène Sancho-Garnier, de l'unité 351 de l'INSERM (Institut Gustave-Roussy de Villejuif).

Atlas de la mortalité par cancer en France
Période 1986-1993
Ali Rezvani, Annie Mollié, Françoise Doyon, Hélène Sancho-Garnier
Statistiques de santé
LES EDITIONS INSERM

Dans le "chapeau" de présentation de notre dossier, nous avons clairement indiqué que les vingt-cinq cartes publiées étaient tirées de l'*Altas de la mortalité par cancer en France*, édité par l'INSERM et l'Institut Gustave-Roussy. Nous sommes heureux de donner aujourd'hui les noms des auteurs de ce précieux document.

Hépatite B : la polémique


SANTÉ
Hépatite B : les risques de la vaccination

« *Comme nombre de mes confrères médecins libéraux, j'ai été en son temps scandalisé par le tapage publicitaire accompagnant les campagnes de vaccination contre l'hépatite B* [*Science & Vie* n° 967, p. 80], écrit le Dr Jean-Marie Gendarme, de Criel-sur-Mer (Seine-Maritime). *En tant que professionnel de la santé, j'ai pensé protester pour toutes les anomalies scandaleuses de cette programmation publicitaire (alarme anormale faite auprès des populations, fausse information quant aux risques de contamination par la salive, abus de pouvoir dans les écoles où le vaccin a été présenté comme obligatoire).* [...] *Informer les médecins comme cela a été fait – par une lettre semblable à tous les courriers publicitaires que nous recevons chaque jour – relève du plus petit dénominateur commun de la communication médicale.* [...] »

A l'inverse, M. Tony Andreani, de Paris, insiste sur le fait que « *jusqu'à présent, il n'existe aucune raison objective d'admettre la responsabilité du vaccin dans la survenue des diverses maladies, principalement neurologiques ou auto-immunes.* [...] *Pour déterminer sa responsabilité, il serait nécessaire de montrer que ces maladies sont plus fréquentes chez les vaccinés que chez les non-vaccinés.* [...] *Quant aux nouveau-nés, ce n'est pas parce qu'ils présentent le risque d'être infectés très jeunes qu'on les vaccine, c'est parce que les essais précédents de vacciner uniquement les jeunes adultes à risque s'étaient révélés inefficaces, en raison d'une mauvaise observance.* [...] »

En attendant les résultats des études menées par le ministère de la Santé, attendus pour fin 1998, on ne peut en effet dénoncer un lien de cause à effet entre la vaccination contre l'hépatite B et des maladies nerveuses inexpliquées...

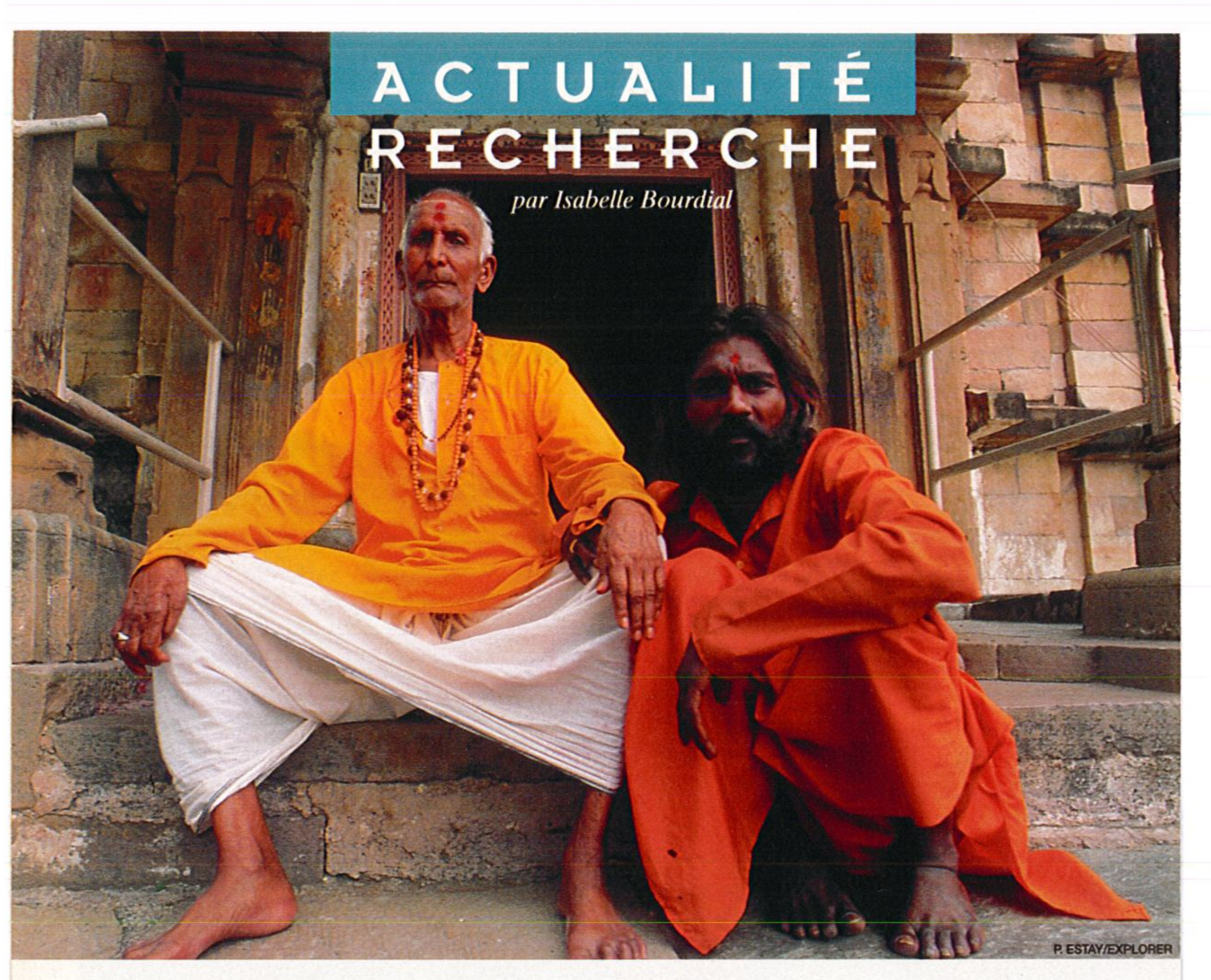
Un acide pour anesthésier...

« *L'acide gammahydroxybutyrique (et non hydroxybutitrique comme vous le mentionnez dans* Science & Vie *n° 966, p. 45) a des propriétés anesthésiques, mais n'a jamais été commercialisé pour cette indication*, précise M. Gaston Fortier, chef adjoint du département de pharmacie au Centre hospitalier universitaire de Québec. *Le GHB est très connu dans le milieu des drogues de rue sous le vocable* liquid ecstasy *et a été utilisé comme "drogue de viol", car il peut être administré à des victimes potentielles dans le but de provoquer l'amnésie des événements qui suivent l'ingestion du produit. Le GHB comporte par lui-même (à cause de ses effets dépresseurs sur le système nerveux central) un fort potentiel d'abus et de dépendance psychologique. Pour cette raison, je doute fort qu'il puisse être un jour commercialisé pour traiter la dépendance face à l'alcool. L'éventuelle mise sur le marché d'un tel produit provoquerait plus de controverses que la légalisation de la marijuana à des fins médicales.* »

Le GHB est bien utilisé en obstétrique et en chirurgie pour provoquer une anesthésie de courte durée. Il est commercialisé en France par les laboratoires Serb. Son utilisation dans le traitement de l'éthylisme en Italie a fait l'objet d'une publication dans *The Lancet* du 3 janvier 1998.


UN NARCOTIQUE POUR NE PLUS BOIRE

par Isabelle Bourdial



P. ESTAY/EXPLORER

L'ADN des castes

Le patrimoine génétique des Hindous porte la trace de leur caste. On constate qu'il est plus facile à une femme de changer de caste qu'à un homme…

En Inde, depuis plus de trois mille ans, les hommes et les femmes se choisissent selon des lois sociales strictes : le système des castes de l'hindouisme (officiellement supprimé dans les années 60). En comparant l'ADN de trois cents hommes issus de castes distinctes, des biologistes américains viennent de montrer que leur génome porte l'empreinte de ces lois.

L'étude du chromosome Y, qui se transmet de père en fils, permet de retracer la lignée paternelle des hommes. Quant au fragment d'ADN qu'abritent les mitochondries, les "centrales énergétiques" de la cellule, l'enfant l'hérite uniquement de sa mère. Ceux qui partagent une ancêtre maternelle possèdent donc la même séquence d'ADN mitochondrial. Ainsi, ces deux régions du génome humain racontent à la fois l'histoire des hommes et celle des femmes.

Les hommes issus de castes hiérarchiquement proches présentent de nombreuses similitudes dans leur ADN mitochondrial. En revanche, les chercheurs ont observé de grandes différences entre l'ADN mitochondrial des hommes des hautes castes, comme celle des brahmanes, et celui des hommes des basses castes.

Selon Lynn Jorde, de l'université de l'Utah (Etats-Unis), ce gradient de ressemblance génétique signifie que les ancêtres maternelles de ces hommes ont changé de caste au cours de leur vie, mélangeant ainsi les gènes entre les castes proches.

L'étude du chromosome Y raconte une tout autre histoire : les hommes des hautes castes ne partagent

pas plus de similitudes avec les hommes des basses castes qu'avec ceux des castes moyennes. Ce qui suggère que les hommes restaient dans la caste de leur naissance.

Ainsi, la génétique confirme qu'en Inde les femmes ont pu changer de rang social par le mariage, un homme prenant parfois pour épouse une femme d'une caste inférieure à la sienne.

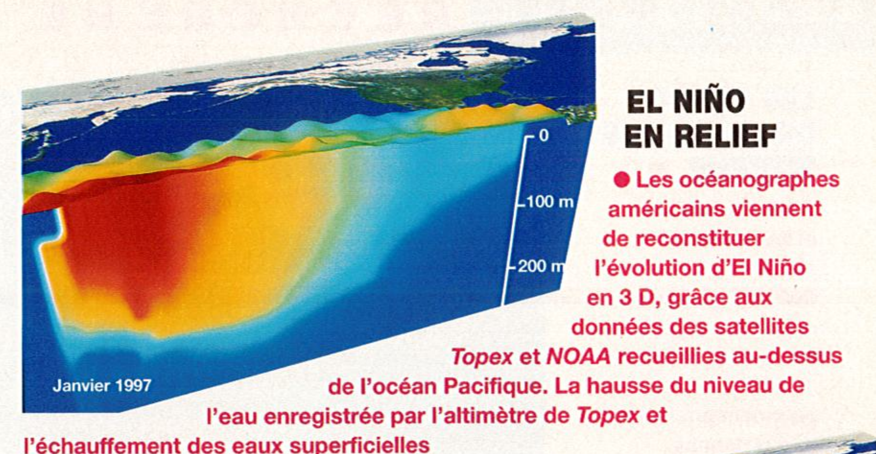
L'analyse de l'ADN transforme donc les généticiens en historiens, comme en témoignent également Tudor Parfitt et Neil Bradman, de l'université de Londres. En étudiant le chromosome Y d'individus de diverses communautés juives, ces chercheurs tentent de reconstruire le voyage du peuple juif de Jérusalem vers l'Inde.

En réponse à ceux qui s'inquiètent de l'éventuelle dérive de cette étude vers la discrimination, Neil Bradman explique que la génétique ne permet pas de déterminer l'appartenance au peuple juif, mais étudie les liens de parenté entre les populations.

G. M.

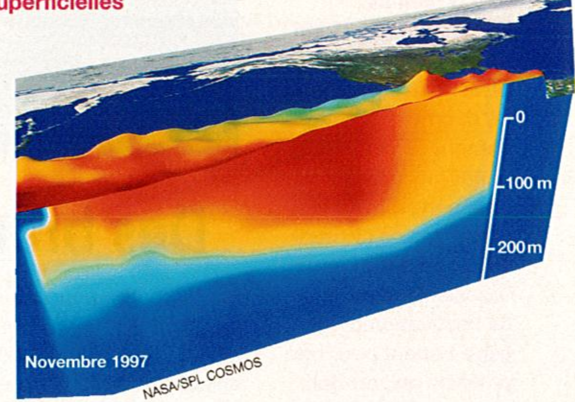
INSTANTANÉ DU FUTUR

Toutes les informations publiées sous ce titre dans cette rubrique sont extraites d'un rapport de l'OMS (Organisation mondiale de la santé) sur la santé dans le monde, 1998.



EL NIÑO EN RELIEF

● Les océanographes américains viennent de reconstituer l'évolution d'El Niño en 3 D, grâce aux données des satellites *Topex* et *NOAA* recueillies au-dessus de l'océan Pacifique. La hausse du niveau de l'eau enregistrée par l'altimètre de *Topex* et l'échauffement des eaux superficielles (en rouge) relevé par le capteur thermique de *NOAA*, perceptibles sur la première image, datant de janvier 1997, se sont très nettement déplacés vers l'est sur l'image de novembre 1997. Sur ces cartes en relief, la topographie océanique est fortement accentuée.



NASA/SPL COSMOS

ZOOLOGIE

L'œuf ou la boule

Pourquoi certains œufs d'oiseau sont-ils ovoïdes et d'autres sphériques ? Qu'est-ce qui détermine la forme d'un œuf ? Tout dépend du nombre d'œufs pondus, répond Tamas Szekely, un mathématicien de l'université de Bristol (Grande-Bretagne).

L'explication est simple : la forme de l'œuf permet la conservation maximale de la chaleur pendant la couvaison, compte tenu du nombre d'œufs et du lieu de ponte.

Les pigeons, par exemple, pondent deux œufs ovales, lesquels peuvent rester collés l'un à l'autre, ce qui serait impossible s'ils étaient sphériques. Les albatros, eux, pondent un seul œuf tout rond, plus pratique à couver. Les guillemots pondent des œufs en forme de poire, plus stables au bord des falaises, et les pluviers, quatre œufs ronds d'un côté et pointus de l'autre, qui s'imbriquent parfaitement...

On attend toujours les œufs cubiques...

M.-S. G.



Sur les falaises, les guillemots pondent des œufs en forme de poire. Plus stables, ils risquent moins d'être emportés par le vent.

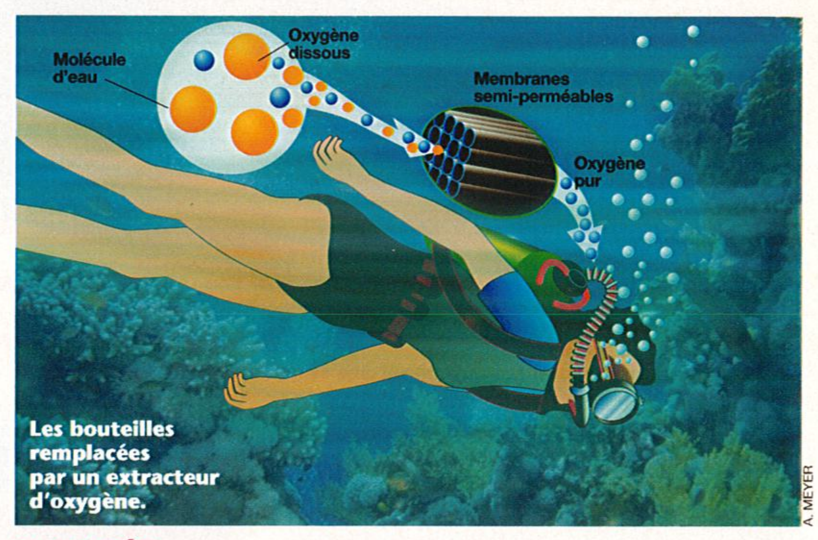
J. MAYET/BIOS

LES GÈNES DE L'HORLOGE INTERNE

● Les facteurs et les mécanismes moléculaires de l'horloge interne, qui, du champignon à l'homme, rythment la vie biologique, commencent à être mieux connus. Paolo Sassone-Corsi, de l'université de Strasbourg, vient ainsi de décrire le fonctionnement de ces phénomènes cycliques endogènes, dans la revue *Nature* (30 avril 1998). Leur processus "oscillant" résulterait de l'activation d'un gène codant pour une protéine qui, au-delà d'une certaine concentration nucléaire, inhibe temporairement la transcription de son propre gène et, par voie de conséquence, sa propre synthèse. La production cyclique de cette protéine "horloge" module aussi l'expression d'autres gènes et engendre d'autres processus oscillants, tels que les rythmes hormonaux. K. M.

INSTANTANÉ DU FUTUR

Dans un quart de siècle, la proportion de citadins n'aura jamais été si importante : ils constitueront 59 % de la population mondiale, au lieu de 55 % en 1995.



Les bouteilles remplacées par un extracteur d'oxygène.

PLONGÉE

Des branchies artificielles

L'homme pourra-t-il bientôt respirer sous l'eau ? Une équipe de chercheurs de l'université Waseda, à Tokyo, travaille à un dispositif capable d'extraire l'oxygène dissous dans l'eau. Le gaz serait aspiré dans des membranes semi-perméables en silicone (elles laissent passer le gaz mais pas les molécules d'eau). Ces branchies artificielles en forme de tube seraient reliées à la bouche du plongeur.

« Le processus n'est pas nouveau, il marche en théorie, mais ne résout pas tous les problèmes de plongée », explique Bernard Gardette, directeur scientifique de la Comex, société marseillaise spécialisée dans la plongée. En effet, « au-delà de 7 m de profondeur, il faut diluer l'oxygène avec de l'azote ou de l'hélium, sinon le plongeur peut s'intoxiquer : sous une pression de 1,7 bar, il risque de faire des convulsions à l'oxygène ».

L'équipe japonaise s'est donné trois ans pour fabriquer un prototype. Ch. C.

NEUROPSYCHOLOGIE

DÉMENCE ANNONCÉE

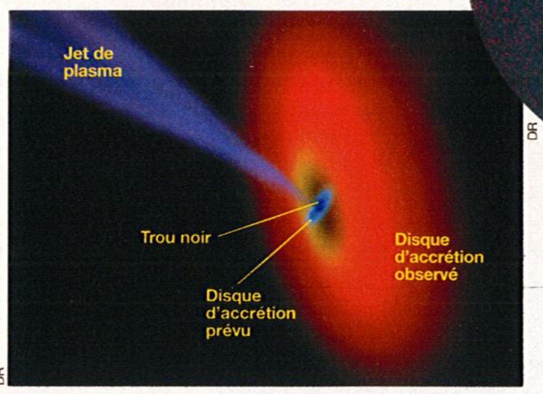
■ On pensait que les démences liées au vieillissement (maladie d'Alzheimer, démence vasculaire...) commencent par une défaillance de la mémoire. Mais, au terme de plusieurs années de travaux, des chercheurs de l'INSERM, à Bordeaux, sont parvenus à une autre conclusion. A l'aide de tests neuropsychologiques, les scientifiques ont suivi plus d'un millier de personnes âgées, toutes "saines d'esprit" au début de l'expérience. Deux ans plus tard, vingt-cinq sujets avaient développé une démence. Partant de ce constat, les chercheurs bordelais ont repris leurs premiers résultats pour comparer les réponses fournies par les futurs malades avec celles des sujets sains. Ils se sont alors aperçu que, chez les malades, tous les processus cognitifs – la mémoire, mais aussi le langage, la perception... – étaient déjà atteints. Selon les scientifiques, la pathologie détériorerait précocement les processus d'attention, justement mis en jeu dans la majorité des processus cognitifs. G. M.

ASTRONOMIE

Zoom sur un noyau actif de galaxie

Le noyau de la galaxie Centaurus A a été observé par *Hubble* dans le proche infrarouge avec un luxe de détails inédits.

DR



DR

Depuis longtemps, les astronomes soupçonnaient la galaxie Centaurus A, distante de 10 millions d'années-lumière, d'abriter un trou noir hypermassif. Déjà trahi par de puissants jets de plasma détectés en radio et en rayons X, ce trou noir, un milliard de fois plus massif que le Soleil, s'est dévoilé davantage sous le regard du télescope spatial *Hubble*.

Grâce au détecteur NICMOS, observant dans le proche infrarouge, les astronomes ont réussi à voir à travers l'épaisse ceinture de poussières interstellaires qui entoure la galaxie. Ils ont obtenu une image sans précédent – les plus petits détails visibles ont 7 années-lumière de largeur –, sur laquelle ils ont découvert un gigantesque disque d'accrétion.

Ce genre de structure ne se forme qu'au voisinage des trous noirs. Mais, en principe, les jets de plasma émis par les pôles sont perpendiculaires au disque, ce qui n'est pas le cas ici. Un mouvement de précession de l'astre, trop petit pour être vu sur l'image, pourrait expliquer cette bizarrerie. Ph. H.

CONDUCTEUR DANS LE BROUILLARD

● **Les automobilistes sous-estiment leur vitesse dans le brouillard, selon une étude menée à l'université de Galles, à Cardiff. Ce problème de perception est dû à la diminution des contrastes : un paysage flou semble défiler plus lentement. Le conducteur ne corrige pas son erreur de perception en regardant le compteur de vitesse, car il garde les yeux rivés sur la route de crainte de manquer un obstacle caché dans la brume. C. V.**

GÉOLOGIE

Le sous-sol des Alpes cartographié

La structure profonde du sous-sol de la France est bien connue, à l'exception de celle des chaînes montagneuses, qui restent souvent inaccessibles aux mesures géophysiques. Pour la première fois, le laboratoire Géophysique et Tectonique de l'université de Montpellier, en collaboration avec une équipe de Zurich, a effectué un relevé gravimétrique aéroporté au-dessus des Alpes.

A bord d'un avion équipé de six récepteurs GPS donnant très précisément la position de l'appareil, on avait embarqué un gravimètre spécialement conçu, qui a mesuré le champ de pesanteur à 2 ou 3 millionièmes près dans la totalité des Alpes françaises et du Jura.

Ce relevé permettra de cartographier en trois dimensions la répartition des masses de diverses densités au-dessous des Alpes. L'un des objectifs est de mieux comprendre la sismicité de la région – et peut-être de localiser des failles encore inconnues. H. G.

CNES/DIST SPOT IMAGE/EXPLORER

La gravimétrie des Alpes révèle le cœur du massif montagneux (ici sur une image enregistrée par Spot).

AGROALIMENTAIRE

Les empreintes digitales du fromage

Sur le marché de l'emmental, fromage français le plus vendu, seule une faible partie est au lait cru : 20 000 tonnes sur 230 000 t, dont 13 000 de label rouge Grand cru, le summum, et 3 000 t de label régional Savoie. Pour le reste, les services de la DGCCRF (la Direction générale de la consommation, de la concurrence et de la répression des fraudes) n'ont aucun moyen analytique de vérifier cette allégation. Ni de savoir, à partir d'un échantillon de râpé, si le contenu du sachet est bien de l'emmental français.

L'emmental, un fromage à pâte pressée cuite, affiné en meules de 60 à 130 kg, est désormais plus breton que franc-comtois.

DR

On peut reconnaître un fromage (ici, en bleu, l'emmental, en rouge, le cheddar), qu'il soit râpé ou fondu, grâce à sa signature spectrale : chaque pic correspond à la présence d'un peptide particulier.

A. MEYER

On ne peut pas davantage vérifier si, en bonne application des accords du commerce international, les fromages fondus importés à prix réduit sont bien à base d'emmental, et non de cheddar ou autres produits, plus compétitif. (Les fromages fondus, tranches pour tartines ou bases fromagères, sont du fromage additionné d'autres produits laitiers.)

Seul le laboratoire central de l'Institut technique du gruyère, à Mamirolle (Doubs) est capable de cette identification. En injectant un échantillon dans la colonne d'un chromatographe liquide à haute performance (CLHP), on sépare les divers peptides constitutifs des protéines du fromage, ce qui permet de déceler, par exemple, la présence de cheddar (voir profils ci-contre).

Mieux, grâce à sa banque de données – plus de 250 profils d'emmental –, le laboratoire a montré qu'un emmental au lait cru a une "signature" différente de celle d'un emmental classique, au lait thermisé (chauffé à plus de 58 °C). M.-L. M.

GÉNÉTIQUE

LE PASSÉ DES MAMMIFÈRES REVISITÉ

■ La diversification des mammifères aurait commencé il y a 100 millions d'années, donc bien avant l'extinction des dinosaures voilà 65 millions d'années. Soutenue par deux biologistes de l'université Park, en Pennsylvanie (Etats-Unis), cette thèse se fonde sur l'étude des gènes de 207 espèces animales actuelles. Ces gènes, au nombre de 658, ont été choisis parce qu'ils présentent des mutations à un rythme constant au cours du temps. Ils constituent une sorte d'horloge génétique qui détermine l'époque à laquelle s'est produite la séparation de deux lignées. Les biologistes américains ont identifié cinq lignées qui existaient déjà à l'époque des dinosaures : écureuils, éléphants, tatous, porcs-épics et chevaux n'auraient pas attendu que la place soit vacante pour se diversifier. Fraîchement accueillies par les paléontologues, ces conclusions ne concordent pas avec celles qu'induit l'étude des fossiles. K. M.

ASTRONOMIE

Le VLT ouvre un œil

La réunion de trois poses successives de dix minutes dans le rouge, le vert et le bleu a donné cette image de la nébuleuse planétaire Butterfly.

PHOTOS : DR

Ce cliché de Centaurus A montre la sensibilité extraordinaire du VLT : dix secondes de pose révèlent des détails perdus dans les poussières interstellaires.

Le 27 mai dernier, l'Observatoire européen austral a rendu publiques les premières images réalisées avec le télescope de 8,2 m du Very Large Telescope (VLT). Les astronomes peuvent être satisfaits. Car la technique du miroir monolithique, maintenu en forme par un système d'optique active, fonctionne parfaitement et permet d'obtenir des clichés d'une résolution sans précédent pour un instrument au sol.

En témoignent ces photos du noyau de la galaxie Centaurus A et de la nébuleuse planétaire Butterfly, prises le 22 mai, dont les détails les plus fins ont respectivement une taille apparente de 0,49 et 0,6 seconde d'arc. D'ores et déjà, le VLT inachevé a fait mieux que son concurrent américain de 10 m, le Keck (à Hawaii), grâce à l'exceptionnelle qualité du ciel au-dessus du Cerro Paranal, au Chili, où il est installé.

Et, si la résolution est encore inférieure à celle du télescope spatial *Hubble* (qui est libéré des perturbations de l'atmosphère), tout laisse présager que ce ne sera plus le cas dès que l'optique adaptative entrera en service, en 2001. Ph. H.

UN SITE TIMBRÉ

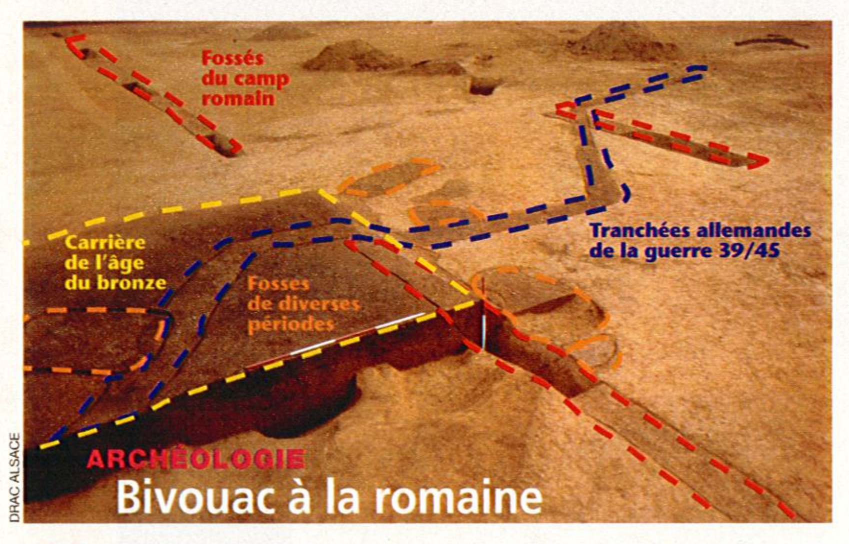
● La compagnie californienne E-Stamp vient de concevoir le Smartstamp, premier timbre électronique sur le Web. L'affranchissement du courrier s'effectuera par Internet. Il sera calculé en fonction de la destination et directement imprimé sur l'enveloppe. Pour éviter la falsification des facturations, la nouvelle application contient une signature digitale qui la rend unique et difficile à contrefaire. Ce service n'est pas encore disponible sur le réseau, mais les autorités postales américaines l'ont d'ores et déjà approuvé. Ch. C.

CULTURE

BIBLIOTHECA ALEXANDRINA

■ 52 000 m², une salle de lecture de 2 000 places sur dix étages, 200 000 volumes, 10 000 images fixes numérisées, 1 500 titres de périodiques, 1,1 milliard de francs... La bibliothèque d'Alexandrie, rebaptisée Bibliotheca alexandrina renaît de ses cendres. Elle devrait ouvrir ses portes à l'automne 1999. C'est le cabinet d'architectes norvégien Snohetta qui a conçu le projet : un édifice rond incliné vers la mer et coiffé d'un toit en verre. Ch. C.

La plus célèbre bibliothèque de l'Antiquité, brûlée en 47 avant notre ère, va être reconstruite.



DRAC ALSACE

ARCHÉOLOGIE

Bivouac à la romaine

A Reichstett-Mundolsheim, comme dans tout camp romain, les portes sont en chicane.

D'après les premiers sondages, un village des débuts du Néolithique – 5 000 avant notre ère – s'étendait sous la future zone d'activité de Reichstett-Mundolsheim, près de Strasbourg. Les archéologues s'étaient réjouis de trouver de nombreux vases qui leur permettraient de définir le lieu d'origine de ces pionniers de l'agriculture.

Mais le décapage du terrain, sous la direction de Nelly Le Meur de l'Association pour les fouilles archéologiques nationales, fit apparaître l'inattendu : un camp romain, dont la superficie, par un heureux hasard, s'inscrit presque entièrement dans l'emprise des travaux. Sa très petite taille (5 400 m²) et sa position le long de la voie romaine menant à Brotomagus (Brumath) laissent penser qu'il s'agit d'un camp d'étape, construit par une troupe en marche vers les frontières de l'Empire, ou bien d'un terrain d'"exercice" pour les légionnaires du camp permanent d'Argentorate (Strasbourg).

Il est construit selon les règles de l'art : une enceinte rectangulaire aux angles arrondis (fossé, palissade sur levée de terre) percée de quatre ouvertures protégées. Après leur halte, les soldats avaient comblé les fossés et étaient repartis, les pieux sur le dos. C. C.

ETHNOLOGIE

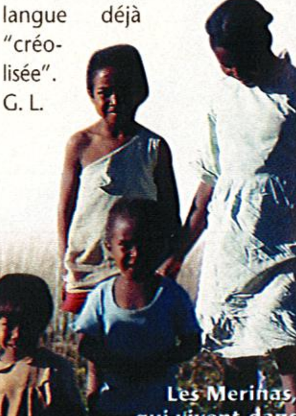
Le Malgache, asiatique et africain

Pourquoi les habitants de Madagascar, île voisine de l'Afrique, parlent-ils un ensemble de langues à dominantes malaises et non pas inspirées uniquement de celles du continent noir ? Des chercheurs de l'université d'Antananarivo (capitale de Madagascar) expliquent cette énigme en s'inspirant du modèle créole.

Les patois créoles d'outre-mer découlent de la colonisation française : les colons imposèrent leur langue aux esclaves, qui, eux-mêmes, y intégrèrent des éléments empruntés à leur propre langue.

A Madagascar, le peuplement remonte à moins de deux mille ans. Les ethnies y sont en majorité d'origine africaine, et secondairement composées des descendants des Malais. Or, toutes les langues parlées dans la grande île ont une composante asiatique dominante, malgré l'influence africaine.

Les Malais auraient colonisé les Comores avant de peupler Madagascar. C'est sur ces petites îles que leur langue s'imposa et se transforma. En débarquant à Madagascar, ils apportèrent avec eux une langue déjà "créolisée". G. L.



DR

Les Merinas, qui vivent dans les hauts plateaux, parlent une langue très proche du malais.

INSTANTANÉ DU FUTUR

L'espérance de vie moyenne d'un Terrien est de 66 ans. En 2025, elle atteindra 73 ans et ne sera inférieure à 50 ans dans aucun pays.

NEUROPSYCHOLOGIE

Premiers en stress

PHOTO RESEARCHERS/COSMOS

Les aînés seraient plus stressés que leurs puînés. C'est ce qu'a révélé une étude sur des singes rhésus menée par une équipe d'universitaires américains du Wisconsin. Une trentaine de primates âgés de 7 mois ont été exposés à des situations génératrices de peur – par exemple, l'arrivée d'une personne inconnue dans une pièce où le jeune animal se trouvait seul. Les premiers-nés ont alors sécrété jusqu'à deux fois plus de cortisone, l'hormone du stress, que les autres.

Il semblerait que la mère joue un rôle primordial dans ce comportement. Mais les scientifiques ignorent s'il découle de la position du fœtus dans l'utérus ou de l'inexpérience des mères primipares. J. N.

Les aînés humains sont-ils, comme les aînés rhésus, plus stressés que leurs frères cadets ?



M. LAMOUREUX/CSI

EXPOSITION

Cité Cœur de réseau

Cité Cœur de réseau tient la vedette à l'exposition que la Cité des sciences consacre au "cybermonde" jusqu'à décembre. Cette "plate-forme multimédia haut débit" est une première européenne. Offrant au public l'accès à un fonds documentaire d'une grande richesse, elle démontre le potentiel et le confort d'utilisation des réseaux à haut débit.

Grâce à elle, les visiteurs visionnent des films scientifiques, se projettent dans la matière ou consultent les *Science & Vie*, de 1913 à 1937.

Cité Cœur de réseau a voyagé sans quitter La Villette. Elle a été présentée à Rennes, à Besançon et à Brême (Allemagne), où le public a pu l'interroger à distance. Elle sera bientôt en connexion permanente avec le serveur de la Bibliothèque nationale de France.

• *Retrouvez tous les mois dans cette rubrique l'actualité de l'exposition "Nouvelle image, nouveaux réseaux. Passeport pour le cybermonde", réalisée avec le soutien de* Science & Vie.

UNE TOUTE PETITE GOUTTE

● Les propriétés très particulières de l'eau sont dues à la façon dont s'assemblent ses molécules. Un physicien de l'University College de Londres a montré, par simulation informatique, que le plus petit assemblage possible est constitué de six molécules formant une sorte de "cage", et que cet édifice a déjà certaines propriétés de l'eau, comme le "moment dipolaire" (qui mesure la distribution des charges électriques). Ainsi, ces six molécules liées formeraient la plus petite goutte d'eau possible. H. G.

INSTANTANÉ DU FUTUR

Le nombre de personnes souffrant de diabète dans le monde doublera d'ici à 2025, pour atteindre 300 millions, en raison de facteurs liés à l'alimentation et au mode de vie.

Seicento

Pour toute information

1,09F TTC/mn

Nº Indigo 0 803 000 600

FIAT SEICENTO. GRAINE DE CHAMPIONNE.

Imaginez une voiture différente, compacte et spacieuse, élégante et maniable, dynamique et pratique : voici la nouvelle Fiat Seicento. Vous pouvez choisir entre 6 versions selon vos besoins... et votre personnalité : l'insolence avec la version S, l'élégance avec la SX, la facilité avec la Citymatic à embrayage piloté, le bien-être avec la Clim et le brio avec la Sporting et la Sporting Abarth. Avec tous ses atouts, la Fiat Seicento est vraiment une graine de championne. A partir de 44 700 F (prix net). Version présentée : Sporting : 56 500 F (prix net), tarif conseillé hors options au 23.03.98, AM 98, dans les points de vente participants.



ZOOLOGIE

Bébés-éprouvettes chez les antilopes

L'insémination artificielle va peut-être sauver l'oryx algazelle. Depuis les années 80, cette antilope africaine ne court plus guère que dans des parcs. Pour enrayer le déclin de sa population, des biologistes du zoo national de Front Royal, en Virginie (Etats-Unis), misent sur la procréation assistée.



J. ROBERT/JACANA

Une espèce extrêmement rare en liberté et qui se reproduit difficilement en captivité, l'oryx algazelle, est sauvée par l'insémination artificielle.

La reproduction en captivité de l'oryx algazelle s'avérait délicate. Pour éviter les accouplements consanguins, les oryx étaient jusqu'à présent transportés d'un parc à l'autre, mais se blessaient fréquemment pendant le voyage. Seule la procréation assistée pouvait brasser les patrimoines génétiques sans déplacer les animaux.

Mais si les fécondations en éprouvette ne soulèvent plus de difficultés chez les animaux domestiques comme la vache, les techniques ne sont pas encore au point pour les espèces sauvages. Il a fallu trois années aux biologistes américains pour déterminer les hormones qui provoquent l'ovulation chez la femelle, ou encore pour trouver la température idéale de conservation du sperme.

Quatre des vingt-huit femelles inséminées ont donné naissance à des petits oryx en bonne santé. Un nouvel espoir pour les espèces menacées. V. G.

BIOLOGIE

DES HOMMES GÉNÉTIQUEMENT MODIFIÉS

■ Sur le campus de l'université de Californie, à Los Angeles, certains sujets de conversation font froid dans le dos. Le 20 mars dernier, nombre d'éminents chercheurs y étaient réunis pour discuter de la transformation génétique de l'espèce humaine. Des membres de l'Académie des sciences, des prix Nobel, des éditeurs de revues scientifiques prestigieuses ont exposé leur projet pour modifier génétiquement les cellules germinales humaines, celles qui donnent naissance aux spermatozoïdes et aux ovocytes. A l'inverse de la thérapie génique, qui consiste à transformer le patrimoine génétique des cellules du seul tissu malade, la modification des cellules sexuelles serait transmise à tous les descendants. Effrayant héritage ! Les chercheurs prévoient que, dans les vingt prochaines années, ils viendront à bout des difficultés techniques liées à la mise en œuvre de leur projet. Et les barrières éthiques ? John Fletcher, professeur d'éthique biomédicale à l'université de Virginie – et unique scientifique invité à s'exprimer sur le sujet –, n'en voit aucune… G. M.

LE LANN/ SIPA IMAGE

Aucun problème éthique pour des chercheurs américains qui envisagent de modifier les cellules germinales humaines…

LE GÈNE DES CHAMPIONS

● Le gène de l'endurance vient d'être décrit dans la revue *Nature* par des chercheurs de l'University College de Londres. Identifié voilà dix ans, et impliqué dans le fonctionnement du système cardio-vasculaire, le gène ACE semble prédominer sous une forme particulière chez les sportifs de haut niveau.


EXPLORER

PHYSIQUE

Des bulles supersoniques

Ploc ! Une goutte tombe dans une flaque... Ce bruit caractéristique se produit non pas quand la goutte heurte la surface, mais au moment où les bulles d'air qui se sont formées dans l'eau implosent.

Grâce à un rayon laser, une équipe de l'université de Göttingen (Allemagne) a obtenu des bulles si volumineuses qu'elles émettent des sons et de la lumière !

Quand une bulle de gaz implose dans un liquide, sa paroi se rétrécit à une vitesse supérieure à celle du son. C'est cette onde de choc qu'on entend. Simultanément, le gaz, comprimé, s'échauffe et peut s'ioniser en émettant des photons.

Si l'on avait déjà observé de tels flashs, l'utilisation du laser pour obtenir une bulle "géante" de 3 mm de diamètre a permis de produire jusqu'à 3.10^7 photons. Cela ne représente malgré tout qu'un millionième de l'énergie émise par une diode. A. L. D.

PIÈCE À CONVICTION

● La Belle France : ainsi aurait pu s'appeler l'Australie... Dans la course à la colonisation, les Français auraient revendiqué ce territoire plusieurs dizaines d'années avant les Anglais. C'est ce que prouverait cette pièce frappée en 1766 et trouvée sur l'île de Dirk Hartog, à l'est du continent. C. C.


SIPA

GÉOLOGIE

Séismes : le pire n'est pas sûr

Bonne nouvelle pour les Californiens : le tremblement de terre qu'ils redoutent n'est peut-être pas pour demain.

En 1995, des géophysiciens étudiant le passé sismique du sud de la Californie avaient conclu à un "déficit de séismes" : les secousses auraient été trop faibles pour dissiper les contraintes s'accumulant dans le sol. Tôt ou tard, ce déficit devrait se traduire par de violents séismes...

Mais, lors de la dernière assemblée de la Société américaine de sismologie, un scientifique de l'United States Geological Survey a conclu à l'absence de déficit, en se basant sur un catalogue présumé plus complet des séismes et après analyse statistique. H. G.


S. SPANN/COSMOS

Des prévisions contradictoires sur l'avenir sismologique de San Francisco.

● Ont collaboré à cette rubrique : Christelle Célarié, Catherine Chauveau, Marie-Sophie Germain, Valérie Greffoz Hélène Guillemot, Philippe Henarejos, Anne Le Duigou, Georges Lejamble, Géraldine Magnan, Kelly Martial, Marie-Laure Moinet, Julie Neubrunn, Cyrille Vanlerberghe

par Didier Dubrana

L'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* n'est pas la "tueuse" que l'on croyait.

F. JUBELIN

Une caulerpe en cachait-elle une autre ?

Le mythe de l'algue "tueuse" a vécu. Lors d'un récent colloque en Crète, les scientifiques ont reconnu qu'elle est inoffensive pour l'homme.

De notre envoyé spécial à Héraklion, Franck Jubelin

« Aucun risque de toxicité pour l'homme n'a été établi... » Fin de carrière médiatique pour l'algue *Caulerpa taxifolia* (voir *Science & Vie* n° 963, p. 111) ? C'est en tout cas la conclusion la plus précise qui ressort de l'atelier organisé par le Programme des Nations unies sur l'environnement (PNUE) au sujet des caulerpes en Méditerranée.

Ce colloque a réuni à Héraklion (Crète), du 18 au 20 mars dernier, cinquante-trois scientifiques, dont les représentants officiels des dix-neuf pays du pourtour méditerranéen. Il a permis de confronter, pour la première fois, les travaux de chercheurs d'avis parfois opposés. Très rapidement, il est apparu que, pour une majorité de pays, c'est non pas *C. taxifolia* qui est préoccupante, mais l'une de ses cousines, *C. racemosa*, dont la présence (faible) n'a été signalée sur les côtes françaises qu'en 1997.

Ces deux algues vertes d'origine tropicale sont invasives : elles colonisent tous les « types de substrat – rocheux, sableux, vaseux –, ainsi que les touffes de posidonies mortes », et elles perturbent les biocénoses (1) côtières marines. Elles constituent donc un risque de bouleversement de l'équilibre écologique.

Si *C. racemosa* vit plutôt en Méditerranée orientale, *C. taxifolia* semble cantonnée à la Méditerranée occidentale. Point de rencontre : l'Italie, où elles seraient arrivées presque en même temps, au début des années 90. Aujourd'hui, le long des côtes de ce pays, *C. taxifolia* s'étend sur 1 320 hectares, et *C. racemosa* se développe rapidement, couvrant déjà près de 3 000 ha. Son arrivée par le canal de Suez est une idée aujourd'hui admise par une large communauté de scientifiques. Celle de *C. taxifolia* reste l'objet d'une controverse.

L'atelier du PNUE s'est conclu sur des recommandations de caractère général (informer la population, effectuer une

cartographie, exercer un suivi scientifique et « contrôler, dans la mesure du possible, l'expansion des deux espèces... »), qui placent ces dernières strictement sur le même plan.

Le représentant français chargé du dossier au ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, Vincent Bentata, a présenté un plan d'action sur cinq ans, qui souligne la reprise en main et la coordination, par son ministère, des travaux de recherche menés jusqu'à présent par divers organismes scientifiques français. Vincent Bentata a précisé : « Il nous faut veiller à prévenir les effets pervers [des actions] des personnes de bonne volonté mais sans rigueur. »

(1) Association d'animaux et de végétaux qui vivent en équilibre dans un biotope.

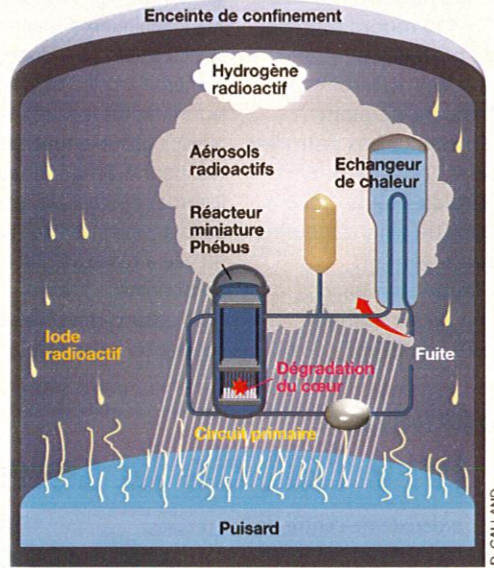
NUCLÉAIRE

Phébus simule les accidents

Reconstituer des accidents nucléaires majeurs au 1/5 000, telle est la vocation du projet Phébus du centre d'études nucléaires de Cadarache (Bouches-du-Rhône).

Ce cœur de centrale atomique en miniature est plongé dans un réacteur nucléaire de 40 mégawatts de puissance, puis poussé au-delà de ses possibilités pour simuler un accident.

Les chercheurs ont ainsi constaté que, si le cœur commence à fondre, une très importante quantité d'hydrogène radioactif est libéré. Tous les modèles mathématiques de simulation avaient sous-estimé ce phénomène. Ainsi, dans les futures centrales atomiques, le problème du nombre de "recombineurs" d'hydrogène – équipements destinés à éliminer ce gaz – devrait être reconsidéré.



Une destruction partielle du cœur provoque l'emballement du réacteur : le circuit primaire se rompt et libère une grande quantité d'hydrogène et de produits de fission.

Enfin, en simulant à une échelle réduite toutes les éventualités d'accident majeur, Phébus permettra d'améliorer les modèles mathématiques de prévention. H.-P. P.

ETHOLOGIE

LES RATS RIENT

Les hommes et les chimpanzés ne seraient pas les seuls à rire... Jaak Panksepp et Jeffrey Burgdorf, de l'université Bowling Green State (Ohio), ont découvert que les rats "rient" quand on les chatouille. Ces rongeurs produisent des sifflements aigus indécelables par l'oreille humaine, qu'on interprétait jusqu'ici comme des cris de détresse ou d'excitation sexuelle. Les rongeurs rient davantage quand ils se font chatouiller en groupe, et les jeunes auraient plus le goût de rire que leurs aînés... Ch. C.

Le rat que l'on chatouille, surtout en groupe, émet un "rire" indécelable par l'oreille humaine.

NHPA/SUNSET

NAISSANCE D'UN MILLÉNAIRE

La première aube du prochain millénaire devrait se lever sur l'île de Pitt, dans l'archipel de Chatham (Nouvelle-Zélande), annonce la Royal Geographical Society. Ce rayon de soleil naissant suscite déjà les convoitises : une société de photographes cherche à boucher la vue de ses concurrentes par un mur de 3 m de hauteur. G. M

TOUJOURS PLUS PROFOND

● **Moins 1610 m : c'est le record mondial de profondeur que des spéléoclubs français viennent d'arracher aux entrailles de la Terre. Le gouffre Mirolda (Haute-Savoie) détrône ainsi le gouffre Jean-Bernard (Haute-Savoie), où l'on ne s'aventure qu'à –1602 m. G. M.**

ZOOLOGIE

Les animaux s'adaptent à l'incendie

Comme les végétaux, les animaux s'adaptent aux incendies (voir dans ce numéro l'article "La vie de la forêt après le feu"). Les oiseaux, par exemple, parviennent à échapper aux flammes et réapparaissent dans la zone incendiée dès qu'elle a retrouvé son aspect originel.

Les oiseaux des zones de végétation basse recolonisent très vite leur domaine, car maquis et garrigues repoussent particulièrement vite. Les oiseaux des forêts (pinsons, rouges-gorges, pics...) doivent attendre trois ans pour se réinstaller dans une forêt de chênes-lièges, et vingt ans dans une forêt de chênes verts.

« Entre-temps, les brûlis font le bonheur de nombreuses espèces adaptées aux milieux ouverts, telles que les alouettes ou les fauvettes », explique Roger Prodon, chercheur du CNRS à l'Observatoire océanologique de Banyuls-sur-Mer (Pyrénées-Orientales).

« La diversité des milieux naturels entretenue par les incendies permet à certaines espèces d'oiseaux de se maintenir. » Ainsi, le traquet et le cochevis de Thékla, inféodés aux milieux ouverts du Sud de la France, n'auraient pas survécu si, en l'absence de feu, la forêt avait remplacé les pelouses, les garrigues et les maquis.

Pour leur part, les petits reptiles, les batraciens et les mammifères échappent rarement aux flammes. Mais, en règle générale, toutes les espèces recolonisent le milieu quelques années après l'incendie. La souris, par exemple, se réinstalle dans la zone brûlée au bout de deux à quatre années.

Quant aux insectes vivant dans le sol, qui avaient migré en profondeur pour se protéger des flammes, la plupart réapparaissent en hiver, deux ans après le passage du feu.

Comme pour les végétaux, les milieux défigurés par le feu abritent donc des espèces étrangères pendant quelques mois ou quelques années. Puis, au fur et à mesure que le site retrouve son aspect initial, les espèces d'origine se réinstallent. S. de S.

DÉCHETS

Ivry fait de la sélection

Le deuxième centre de tri du Syndicat intercommunal de traitement des ordures ménagères de l'agglomération parisienne (SYCTOM) fonctionne depuis mars 1997 dans les locaux de l'usine d'incinération des déchets ménagers d'Ivry-sur-Seine (Val-de-Marne).

Exploité par la société TIRVED, ce centre traite les ordures issues des collectes sélectives (papier, carton, plastique...) et les objets encombrants de quinze communes du syndicat. La moitié des 21 000 tonnes de déchets d'ores et déjà traités est recyclée.

D'autre part, la mise aux normes de l'usine d'incinération d'Ivry pour les rejets de fumées et de leurs eaux de lavage, et la rénovation partielle des "fours chaudières", qui brûlent 50 t de déchets à l'heure, lui permettront de poursuivre son activité jusqu'en 2010.

Cette usine traite chaque année de 700 000 t à 730 000 t d'ordures, produites par 1 317 802 habitants. Ch. C.

Y. LE BORGNE

L'usine d'incinération des déchets d'Ivry-sur-Seine améliore la qualité de ses rejets, et s'adjoint un centre de tri (ci-dessous) et de recyclage.



LES PNEUS À ÉCONOMIE D'ÉNERGIE

● Réduire la résistance des pneus au roulement est l'objectif de tous les constructeurs. Remplacer une partie du carbone de la gomme par de la silice semble l'améliorer fortement. Une nouvelle famille de pneus "à économie d'énergie" pourrait voir le jour. En France, Michelin associe à cette recherche une étude destinée à diminuer la masse globale du pneu. La géométrie du pneu et de ses sculptures est remise sur la planche à dessin pour garantir l'adhérence sur sol sec ou mouillé tout en améliorant la résistance au roulement. H.-P. P.

COMMERCE

Quand les zoos se transforment en boucheries

Quand un visiteur paie son entrée dans un zoo de Grande-Bretagne, il alimente le commerce de la viande exotique ! En effet, depuis quelques années, les éleveurs de kangourous, d'autruches ou de crocodiles peuvent se fournir dans les zoos pour composer leur cheptel.

Alors que leur rôle consiste à préserver les espèces en voie de disparition, les zoos britanniques (celui de Chester, dans le Cheshire, le Costwold Wildlife Park, dans l'Oxfordshire...) font le contraire : ils vendent leurs surplus de progéniture comme bétail aux éleveurs de "viande exotique". Pour quelques milliers de francs, ceux-ci peuvent se procurer cinq émeus ou quatre bisons. Quelques années plus tard, ils posséderont près de trois cents oiseaux ou soixante-dix bisons.



Certains zoos anglais fourniraient les éleveurs de crocodiles.

G. LACZ/SUNSET

Bien entendu, les zoos nient catégoriquement. Quant aux éleveurs qui osent passer aux aveux, ils affirment que la viande d'autruche ou de crocodile est excellente pour la santé, car elle est pauvre en cholestérol. Le commerce de la viande exotique, lui, ne fait qu'engraisser...

Mais les zoos ne se bornent pas à ces pratiques : pour calmer les animaux sauvages trop agités à leur goût, certains vétérinaires attachés à des établissements britanniques et américains n'hésitent pas à leur prescrire des antidépresseurs. Selon eux, ce traitement de choc est sans danger, car de courte durée : huit semaines pour le Prozac, deux pour le Valium.

Méthode déplorable, mais qui semble faire école, puisque de nombreux Américains donnent du Prozac, notamment, à leurs chiens et à leurs chats. M.-S. G. et G. M.

COUCHE D'OZONE

LES AVIONS SONT INNOCENTS

■ Les avions ne détruisent pas la couche d'ozone. C'est ce que vient de révéler un rapport de l'Académie des sciences sur la responsabilité du trafic aérien dans les perturbations de l'environnement atmosphérique. Depuis les années 70, les scientifiques soupçonnaient les avions de bouleverser l'équilibre climatique. Le Concorde a fait naître de vives inquiétudes quant aux effets nocifs (notamment sur la couche d'ozone) des oxydes d'azote rejetés par les avions supersoniques. Mais le rapport de l'Académie des sciences est formel : les émissions d'oxydes d'azote par le trafic aérien, réduites de 35 % en dix ans, représentent moins de 3 % des émissions liées aux activités humaines. Il en va de même pour les émissions de gaz carbonique et de vapeur d'eau. S. de S.



Le Concorde.

P. BOULZE

RISQUES MAJEURS

Les bienfaits des avalanches

« Il faut protéger les avalanches », déclarent en chœur les services forestiers américains et le ministère de la Forêt de Colombie-Britannique (Canada). Ils s'appuient sur de récentes études écologiques qui montrent que les avalanches créent des habitats propices à la survie de plusieurs espèces.

En effet, nombre d'oiseaux et de grands mammifères, tels que les ours ou les caribous, se régalent des végétaux qui se développent sur les sols ensoleillés dégagés par les avalanches. En suivant les ours par radio, Roger Ramcharita, de l'université de Colombie-Britannique, a montré que 40 % d'entre eux occupent à peine 10 % du territoire : les couloirs d'avalanche.

Rick Mace, un biologiste qui a suivi les ours pendant plus de dix ans dans le Nord-Ouest du Montana (Etats-Unis), est parvenu aux mêmes conclusions : les couloirs d'avalanche ne représentent que 5 % de la surface étudiée, mais les ours y passent 60 % de leur temps. Selon le chercheur, outre une nourriture abondante, ces lieux offrent un point de rendez-vous où, chaque printemps, les femelles attendent les mâles. G. M.



Couloirs d'avalanche.

W. LAURILLA

AMIBES "NUCLÉAIRES"

● Des amibes vecteurs d'une forme de méningite mortelle ont été trouvées en quantité élevée dans les eaux de rejet de la centrale nucléaire de Golfech (Tarn-et-Garonne). *Naegleria fowleri* prolifère dans les circuits de refroidissement des centrales nucléaires, où la température de l'eau atteint de 25 à 45 °C. Selon EDF, de l'eau de Javel dans les canalisations devrait en venir à bout. V. D.

TECHNOLOGIE

LE LASER QUI AVEUGLE

■ Gadget en vogue chez les adolescents, le "pointeur laser" utilisé par les conférenciers est devenu la terreur des maîtres d'école. Accusé de provoquer de graves brûlures rétiniennes, ce dangereux "joujou" vient d'être interdit à la vente.
La puissance des pointeurs les plus incisifs (ceux de classe 3) n'est que de 0,5 watt : n'importe quelle ampoule d'éclairage a une puissance bien supérieure. Mais la lumière du laser est "cohérente" : toutes les ondes lumineuses se propagent en phase, sans diverger. Contrairement à celle de l'ampoule, dont la lumière rayonne dans toutes les directions, l'énergie lumineuse du laser est donc concentrée sur une très faible surface. Quand le faisceau pénètre dans l'œil, le cristallin se contente de le dévier. La rétine reçoit l'intégralité de la puissance lumineuse concentrée en un point. Normalement réservés aux professionnels, les pointeurs de classe 3 ont un coût élevé (environ 400 F) dissuasif. Les gadgets de classe 2, vendus pour une centaine de francs, sont bien moins puissants. Le risque qu'ils présentent est faible : bien avant que leur lumière soit dangereuse, elle provoque le réflexe de fermer la paupière. Néanmoins, un enfant qui vise les yeux de ses camarades de façon prolongée peut causer de graves brûlures. H.-P. P.

Un dangereux gadget désormais prohibé.

A. DEVOUARD/REA

● Ont collaboré à cette rubrique : Christelle Célarié, Virginie David, Marie-Sophie-Germain, Franck Jubelin, Géraldine Magnan, Henri-Pierre Penel, Sophie de Salettes.

NUCLÉAIRE

Incertitude à Civaux et à Chooz

Le 7 mai dernier, EDF a arrêté la nouvelle centrale nucléaire de Civaux (Vienne), puis celles de Chooz 1 et 2 (Ardennes).

Selon EDF, Civaux, mise en service en 1997, a été arrêtée, comme toute centrale après une période de fonctionnement, dans le but de procéder à un contrôle technique. Le cœur de la centrale continue cependant à émettre 8 MW de puissance résiduelle (contre 4 000 en fonctionnement normal).

Lors du contrôle, on a découvert une fissure dans le coude de refroidissement du réacteur. Ce coude comprenant deux voies, la seconde a pris le relais de la première sans qu'il y ait eu de conséquence fâcheuse, assure EDF... L'avarie s'est cependant révélée plus importante, puisque d'autres fissures ont été décelées.


LA MÉDIATHÈQUE EDF

Des fissures ont été découvertes dans le circuit de refroidissement de la centrale nucléaire de Civaux.

Construites selon la même technologie, les centrales de Chooz 1 et 2 ont été arrêtées par mesure de prudence.

EDF vérifie donc l'ensemble des circuits de refroidissement des trois centrales, qui ne seront pas remises en service avant plusieurs mois.

Gérard Morice

CÉTACÉ DÉCHET

● Les carcasses des bélougas qui s'échouent sur les bords du fleuve Saint-Laurent (Canada) sont si contaminées par des produits chimiques qu'elles sont assimilées à des déchets toxiques.

par Germain Chambost

Sauvetage en eaux profondes

Quand un sous-marin est en détresse, les secours par mer peuvent prendre plusieurs jours. Un nouveau scaphandre permet à un plongeur d'intervenir en urgence.

En mars dernier, la Marine nationale a mis en service un scaphandre destiné aux secours à grande profondeur pour les sous-marins en détresse. Le plongeur peut ainsi descendre dans une nacelle jusqu'à – 300 m et installer une alimentation en air frais pour le submersible. Ce qui donne au sous-marin d'intervention le temps d'arriver sur les lieux pour évacuer les hommes bloqués au fond, alors que cette opération peut parfois prendre plusieurs jours.

Baptisé Newtsuit ("vêtement du triton", en anglais), ce scaphandre d'origine canadienne est en fonte d'aluminium d'une épaisseur de 1 à 3 cm et pèse 300 kg plongeur compris. Dans l'eau, après son équilibrage par une ceinture de lest qu'on peut aisément larguer et qui permet une remontée autonome, le poids n'est plus que de 1 ou 2 kg.

Grâce à des joints tournant dans un bain d'huile, Newtsuit est entièrement articulé. Il s'ajuste à la morphologie du plongeur : longueur des jambes, réglage de la ceinture abdominale sur le buste. Le plongeur dispose d'une autonomie respiratoire de quarante heures en mode de survie. Or, les missions réelles ne dépassent pas quelques heures.

Quatre petits moteurs électriques autorisent le pilote à se déplacer dans toutes les directions. Un cordon ombilical relie le scaphandre à la surface pour l'alimenter en électricité et assurer les liaisons radio et vidéo dont il est doté.

Conçu comme une sorte de petit sous-marin, où est maintenue la pression atmosphérique, le scaphandre ne provoque aucune modification physiologique chez le plongeur, à la différence d'autres engins d'intervention à grande profondeur, qui imposent de longues opérations de désaturation des gaz dissous dans le sang. Newtsuit est en effet doté d'un système de régénération d'air, avec fixation du gaz carbonique par une cartouche de chaux.

Les Américains en ont commandé quatre exemplaires, renforcés pour pouvoir descendre jusqu'à – 600 m.

Newtsuit permet de descendre à – 300 m à la pression atmosphérique.

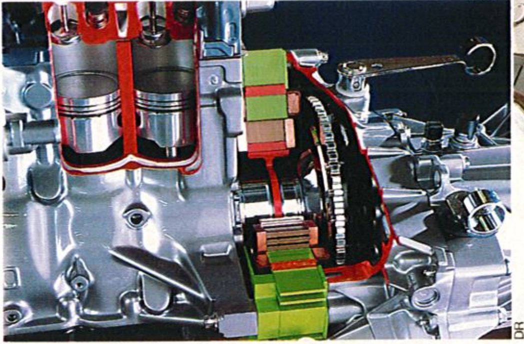
LAMOTTE

AUTOMOBILE

Coup de pouce électrique

Mis au point par la société allemande ISAD Systems, Dynalto est un "alterno-démarreur" qui combine les fonctions du démarreur et de l'alternateur, distinctes sur les voitures actuelles. Il équipera la Xsara du groupe Peugeot-Citroën.

En fonction démarreur, il se comporte comme un démarreur habituel pour lancer le moteur. En fonction alternateur, il produit de l'électricité, stockée dans des batteries supplémentaires. Il fournit ainsi une réserve de 5 kilowatts (environ 8 chevaux), à laquelle on fait appel pour augmenter la puissance du moteur thermique du véhicule. Une sorte de "coup de pouce électrique" pour faciliter le dépassement, par exemple.



Cependant, cette puissance n'est utilisable que dans une plage de régimes moteur comprise entre 1 000 et 3 000 tours/minute.

Autre emploi : dans les démarrages en côte ou aux feux rouges, grâce à la fonction dite "stop and go". Quand l'arrêt au point mort dure plus de trois secondes, le moteur thermique se coupe de lui-même. La consommation et la pollution s'en trouvent réduites. Lorsque le feu passe au vert, le conducteur enclenche la première vitesse, la mécanique se relance, d'abord en traction électrique, et le véhicule démarre.

Entre le moteur et la boîte de vitesses, un disque de 30 cm (ci-contre) fournit de l'électricité.

DE LA BOUE À DOMICILE

● La boue thermale de la Styrie (Etat fédéral de l'Autriche) est connue pour ses propriétés thérapeutiques : elle traite notamment les rhumatismes, les inflammations de l'appareil digestif et les phlébites. Sous l'appellation Fangotherm, elle est aujourd'hui commercialisée par la société autrichienne Fango Medica sous la forme de plaques en matière plastique. La plaque est chauffée au four à micro-ondes, dans de l'eau chaude ou dans un four ordinaire. Après avoir retiré la feuille de plastique, on l'applique pendant vingt minutes sur la partie du corps à traiter.

MÉDECINE

Chirurgie sur maquette

L'hôpital universitaire de Zurich a acquis une réputation mondiale dans le domaine de la chirurgie cranio-faciale. Les chirurgiens préparent leurs interventions sur des maquettes stéréolithographiques façonnées à l'aide de fichiers informatiques d'imagerie médicale : scanner, échographie, résonance magnétique nucléaire...

On obtient ainsi des "fac-similés anatomiques" en trois dimensions, qui permettent de visualiser les structures inaccessibles ou cachées de la tête du patient.

Au bout de trois années et d'une trentaine d'interventions, la technique élaborée par l'équipe du Pr H. F. Sailer, en collaboration avec l'Institut suisse des sciences informatiques et la société américaine 3 D Systems, est parfaitement au point.

L'une des opérations visait à corriger une anomalie appelée hypertélorisme (trop grand écartement des yeux). C'est la plus longue et la plus délicate intervention, car la moindre erreur peut entraîner la cécité. Elle consiste à rapprocher les orbites oculaires du centre du visage et à modifier leur position en hauteur. L'étude sur la maquette réduit sa durée de moitié : douze heures au lieu de vingt-quatre.

L'anatomie est reconstituée en 3 D pour faciliter l'intervention.

AGRICULTURE

Tomates assistées par ordinateur

Créer les meilleures conditions climatiques à l'intérieur d'une serre en fonction des plantes qu'on y cultive : c'est l'objectif du logiciel Serriste, développé par trois équipes de l'Institut national de la recherche agronomique (INRA).

Initialement destiné aux producteurs de tomates du sud de la France, ce logiciel devait les aider à gérer leurs serres chauffées, notamment en hiver. Il a été testé pendant trois ans sur quatre sites expérimentaux de centres techniques agricoles. Il fournit des recommandations quotidiennes sur l'aération, la température, l'hygrométrie, la teneur en gaz carbonique de l'atmosphère de la serre, tout en tenant compte de l'état des plantes, des contraintes phytosanitaires (risques de maladies) et des conditions climatiques de la veille, ainsi que des prévisions météorologiques à court terme.

Serriste a pour fonction d'optimiser la consommation d'énergie en ajustant les conditions sous serre au plus près des besoins réels. Par rapport à une conduite classique, avec chauffage au gaz, les expérimentations ont permis de chiffrer les économies à 12 %.

COMMERCE

Fleurs en barres



DR

Facturation et gestion des stocks sont simplifiées.

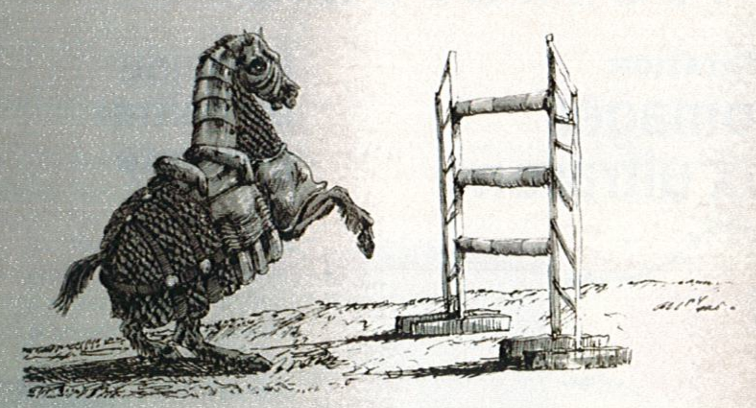
Les fleuristes qui s'approvisionnent dans les centres de gros du groupe Floris, leader en France et en Belgique sur le marché des fleurs coupées, peuvent aujourd'hui procéder à leurs achats... en automatique.

A l'entrée du centre, leur badge d'identification les fait prendre en charge par le système automatique de vente. Chaque produit (les fleurs, mais aussi les accessoires, vases, vannerie, etc.) est doté d'une étiquette à code-barres, mise au point par la société Interscan Systèmes.

A la caisse, l'employé lit grâce à un portable radio le code-barres du badge et celui de chaque produit. Le détail de la facture apparaît alors sur un écran.

DU CARBURANT DE VIEUX PAPIERS

Un chercheur de l'université de Princeton (New Jersey, Etats-Unis) vient de déposer un brevet pour un carburant fabriqué à partir de vieux papiers ou de cartons, de sciure ou de copeaux, de paille, etc. Originalité : ce carburant n'est pas un "monoproduit". Il résulte d'un mélange d'éthanol, de méthyltétrahydrofurane et de gaz naturels liquides. Le brevet a été cédé pour commercialisation à une petite société new-yorkaise, Pure Energy. L'université de Princeton affirme que ce nouveau carburant est compétitif face aux produits issus du pétrole.



Peut-on considérer le **POIDS** comme un allié ?

Imaginez une jolie route ondulée, qui invite au plaisir de conduire. Mais un virage plus serré que les autres rompt la cadence, obligeant le conducteur à freiner. Trop lourde, la voiture pique du nez, puis prend du roulis. Les occupants se cramponnent. Le charme, lui aussi, est rompu...

Fig.1 *Structure ASF.*



Depuis le début des années 80, une contradiction de plus en plus flagrante s'est instaurée entre l'augmentation constante du poids des voitures et les lois de la dynamique qui gouvernent le comportement des masses en mouvement. **On a longtemps associé le poids d'un véhicule à l'efficacité des structures qui le protègent**. Or, une voiture qui roule n'est pas une forteresse, et sa sécurité se mesure moins à l'épaisseur de ses tôles qu'à ses qualités routières, lesquelles sont directement affectées par son poids.

En réalité, plus une voiture est légère, plus elle est dynamiquement sûre. Et si l'accident vient à se produire, la résistance de la structure dépend davantage de sa capacité à absorber l'énergie libérée par le choc, que de sa masse, laquelle constitue au contraire un facteur aggravant.

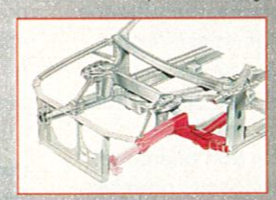
Mais comment contenir le poids tout en intégrant des perfectionnements en tous genres ?

Les constructeurs de voitures de course ont montré la voie en allégeant leurs structures grâce à l'utilisation intensive de l'aluminium, moins lourd que l'acier à caractéristiques de résistance et de rigidité égales. L'aluminium, cependant, est plus complexe à produire et à transformer que l'acier. Aussi son emploi dans l'industrie automobile s'est longtemps limité à la réalisation des organes de fonderie.

Plutôt que de s'en tenir à ce constat, Audi s'est associé à Alcoa, l'un des grands spécialistes mondiaux de la métallurgie aéronautique. Cette collaboration a abouti en 1993 avec la présentation du prototype ASF - Audi Space Frame - dont la structure en cellule était entièrement construite en alliage léger. Quelques mois et une quarantaine de brevets plus tard, ce prototype donnera naissance à la prestigieuse Audi A8 dont la structure forme une sorte de cage à la fois plus rigide, plus légère et **absorbant mieux les chocs** qu'une structure monocoque conventionnelle en tôles d'acier soudées.

Par voie de conséquence, ce gain de poids permet donc de monter, sans diminution de performance, un moteur moins puissant. Les contraintes sur la transmission et les trains roulants se trouvent ainsi réduites, et le poids de ces organes eux-mêmes peut à son tour être revu à la baisse.

Fig.2 *L'aluminium permet une meilleure absorption de l'énergie.*



Tout ceci se traduit aussi par une économie de carburant de l'ordre de 20%, une diminution corrélative des émissions polluantes, et même une isolation plus efficace du bruit et des vibrations. L'Audi A8 a été la première à bénéficier de tous ces avantages. Le prototype AL2, bénéficiant lui aussi de l'ASF, préfigure ce que seront les citadines de demain.



Audi

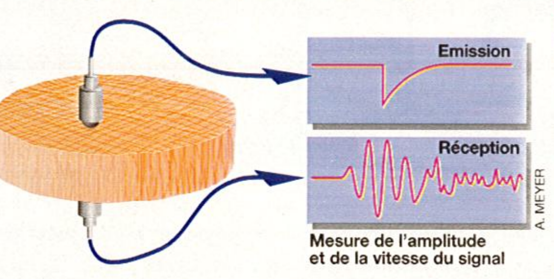
Votre Audi est pensée pour des choses auxquelles vous n'aviez jamais pensé.

LES MICROBES AIMENT LA NITRO

● Certains produits employés dans la fabrication des explosifs peuvent être nuisibles à l'environnement quand ils se retrouvent dans les effluents industriels. C'est le cas de l'ONTA (oxynitrotriazole). Comme son nom l'indique, cette molécule explosive a des liens de parenté avec la nitroglycérine. Des physiciens du Commissariat à l'énergie atomique du Ripault, près de Tours, en collaboration avec le CNRS, ont imaginé une manière élégante de s'en débarrasser : trouver des microbes qui s'en repaissent. La souche microbienne *Bacillus licheniformis* transforme les résidus d'ONTA en amine, puis en une molécule simple, non polluante. Ce processus pourrait, semble-t-il, s'appliquer à d'autres substances de la même famille que l'ONTA.

ALIMENTATION

Fromages aux ultrasons



Mesure de l'amplitude et de la vitesse du signal

Envoyés à travers la pâte d'un fromage, puis analysés, des ultrasons à basse fréquence fournissent des indications sur ses caractéristiques. Grâce aux modifications des signaux, on peut en quantifier les propriétés physiques, donc la qualité.

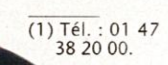
Des chercheurs de l'université de Valenciennes (CNRS) et de l'Institut national de la recherche agronomique ont mis au point des capteurs qui permettent de surveiller toutes les étapes de la fabrication d'un fromage.

La méthode a été expérimentée sur des fromages à pâte pressée cuite, mais, d'après les chercheurs de Valenciennes, elle pourrait s'étendre à tous les types de fromage. Et même aux pâtés, aux sucreries, au caramel, aux sauces, etc.

Pour contrôler l'affinage des fromages, on les "passe" aux ultrasons.

Le guide de l'ultra-propreté

Edité par la société BCMI (1), le *Guide de l'ultra-propreté 1998* expose tout ce qu'il faut savoir à propos de la maîtrise de la contamination. Il s'adresse donc particulièrement aux responsables de cette technique, dans l'agroalimentaire, en médecine, dans la recherche, l'industrie spatiale, la pharmacie, etc. Trois cents métiers et activités, les familles de produits y sont répertoriés. L'ouvrage indique également les normes et les réglementations en vigueur. Il couvre la France, la Belgique et la Suisse.



(1) Tél. : 01 47 38 20 00.

DR


L'Égypte
des Pharaons

DÉFENSE

Des sous-marins en béton

Selon des sources de renseignement militaire britanniques, les Russes sont en train de mettre au point des sous-marins en béton capables d'attaquer les navires de surface avec des torpilles d'un nouveau genre, trois fois plus rapides que les engins actuellement en service.

Très lourds, les sous-marins en béton seraient dotés d'ailes qui assureraient leur "portance", donc leur flottaison, à la profondeur désirée, quand ils se déplacent en immersion. Avantage sur les submersibles classiques : ils seraient faciles à construire et d'un coût relativement modeste. En outre, ils résisteraient remarquablement à la pression et pourraient naviguer à des profondeurs abyssales, que n'atteignent pas les sous-marins en métal.

Ces derniers, dotés de ballasts qu'on remplit pour descendre ou qu'on vide pour remonter, doivent établir un délicat équilibre entre la résistance de la coque et les qualités de flottaison. Sur les sous-marins en béton, la propulsion serait assurée par des turbines à jet, mues par des moteurs électriques, qui avalent l'eau à l'avant et la rejettent à l'arrière à grande vitesse.

Les tuyères de ces turbines seraient orientables, comme sur certains avions de combat. Dirigées vers le bas, elles permettraient aux submersibles de s'arracher au fond de la mer, puis, par rotation, leur fourniraient la poussée horizontale nécessaire à leur déplacement.

Selon les Britanniques, l'armement de ces sous-marins des grandes profondeurs serait constitué de torpilles capables de fuser à 200 nœuds (370 km/h), grâce à une émission d'air à l'ogive de la torpille. L'air envelopperait en quelque sorte l'engin et réduirait considérablement la traînée qui se produit habituellement dans l'eau.

Les Britanniques estiment qu'une telle technique serait applicable aux sous-marins eux-mêmes, ce qui les autoriserait à filer à plus de 60 nœuds en plongée.



De petite taille (ci-dessous), tapi au fond de l'océan, le sous-marin pourrait lancer des torpilles à 370 km/h.



MÉTALLURGIE

LA CORROSION EN COULEURS

■ Des chercheurs de l'université de l'Ohio (Etats-Unis) expérimentent des sous-couches et même des peintures qui changent de couleur quand le métal sur lequel elles sont appliquées est atteint par la corrosion. Permettant de détecter des points de corrosion invisibles à l'œil nu, elles pourraient se révéler fort utiles dans le secteur de la construction aéronautique, par exemple. Les chercheurs américains, spécialistes en matériaux, ont mélangé des indicateurs de pH (acidité) à une sous-couche transparente à base d'acrylique. Quand l'acidité de la peinture change, la teinte des indicateurs se modifie – du jaune vers le bleu ou vers le rose –, ce qui traduit la réaction chimique engendrée par la corrosion. Cette technique pourrait s'appliquer aux structures intérieures des avions, notamment dans les endroits exposés à l'humidité, tels que les toilettes ou les galleys (emplacements de préparation des plats et des boissons). Il existe certes des procédés pour détecter la corrosion du métal : les infimes changements de conductivité électrique sur les parties corrodées ou bien les appareils à ultrasons qui révèlent ce que les spécialistes appellent des criques, c'est-à-dire des fentes minuscules.

Mais ils sont beaucoup moins faciles à mettre en œuvre et ne peuvent s'utiliser qu'au sol, lors des opérations de maintenance.

BIOTECHNOLOGIES

Vanille aux champignons

Un laboratoire marseillais de l'Institut national de la recherche agronomique, en association avec l'INRA de Nantes et un institut de recherche britannique, a développé un procédé de fabrication de vanilline naturelle par des champignons.

La matière première est constituée de son de céréales et de pulpe de betteraves. On fractionne ces résidus à l'aide d'enzymes, afin d'obtenir l'acide férulique, composé aromatique précurseur de la vanille. Puis on emploie deux champignons filamenteux comme agents de transformation. Le premier convertit l'acide férulique en acide vanillique; le second change l'acide vanillique en vanilline.

Aujourd'hui, celle-ci est obtenue à 80 % par synthèse chimique et à 20 % à partir de gousses de vanille. Les recherches en laboratoire se poursuivent afin de passer au stade préindustriel.



DR

Des champignons comme agents de transformation.

DIRECTEMENT DANS LES CYLINDRES

● Depuis mars dernier, Volvo commercialise ce que la firme suédoise présente comme le premier moteur à essence à injection directe monté sur une voiture européenne. Il s'agit d'un quatre cylindres mis au point par Mitsubishi et adapté par Volvo. En injection directe, l'essence est vaporisée dans les chambres de combustion des cylindres, sans passer par un carburateur. La diminution de consommation qui en résulte est de l'ordre de 10 %, et peut atteindre 15 % en ville.

L'injection directe arrive en Europe.

par Philippe Chambon



A. WERNIG/PHYSIOLOGISCHES INSTITUT.

Soutenus par des harnais, des paraplégiques réapprennent à marcher.

«Lève-toi et marche»

Des paraplégiques retrouvent l'usage de la marche : c'est l'étonnant résultat d'une nouvelle méthode de rééducation mise au point en Allemagne.

Remarcher après avoir eu la moelle épinière sectionnée, cela paraissait impossible. Jusqu'à ce qu'Anton Wernig, de l'université de Bonn (Allemagne), invente une méthode de rééducation aux effets spectaculaires : trente-trois patients paraplégiques sur trente-six ont réappris à marcher, au moins avec des cannes.

Ils souffraient tous d'une section partielle de la moelle épinière, et certains étaient cloués dans une chaise roulante depuis des années.

Ce sont des recherches sur le chat qui ont permis de mettre au point cette méthode révolutionnaire. Les neurologues ont en effet découvert que, chez cet animal, des neurones de la moelle épinière contrôlent la marche de façon presque automatique, sans être directement reliés au cerveau. Ils forment ce qu'on appelle un "générateur de rythme autonome".

La nouvelle méthode de rééducation consiste à stimuler et à réadapter ce circuit nerveux à la marche. Soutenus par des harnais, les malades s'entraînent à marcher sur des tapis roulants. Même s'ils ne peuvent pas tenir sur leurs jambes, ils réapprennent à s'en servir.

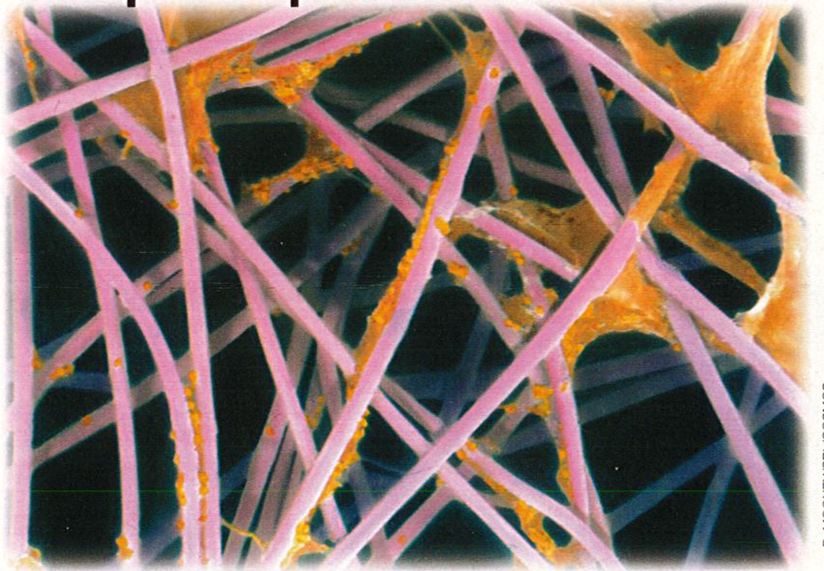
Encore préliminaires, les résultats sont très encourageants. D'autres équipes les ont reproduits aux Etats-Unis et au Canada. A l'hôpital de l'université Balgrist, à Zurich (Suisse), Volker Dietz tente maintenant l'aventure avec des malades dont la moelle est complètement sectionnée. Pour l'instant, cette technique ne semble pas expérimentée en France... O. B.

UN PRÉSERVATIF FÉMININIMININ

● **Utilisé depuis 1992 en Suisse et en Grande-Bretagne, le préservatif féminin pourrait être bientôt disponible en France, afin de satisfaire aux nouvelles règles du marché européen. Cependant, le ministère de la Santé n'a encore retenu aucune date de mise sur le marché. Il s'agit d'un fourreau souple en polyuréthanne de 17 cm de longueur et 8 cm de largeur, plus résistant et moins générateur d'allergies que son homologue masculin en latex. En Grande-Bretagne, 1 % des femmes de 18 à 45 ans s'en servent : elles sont presque aussi nombreuses que les adeptes du diaphragme. P. R.**

GREFFES

Le plastique bioactif



D. MOONEY/SPL/COSMOS

Ces fibres synthétiques servent de support à la "repousse" de tissu biologique naturel.

La greffe idéale : faire repousser le tissu biologique naturel sur un polymère qui stimule la multiplication cellulaire et se résorbe une fois l'organe reconstitué. De nombreuses équipes travaillent dans ce sens à travers le monde (voir *Science & Vie* n° 959, p. 48). Celle de David Mooney, à l'université du Michigan (Etats-Unis), a mis au point un polymère résorbable porteur de facteurs de croissance et de molécules d'adhésion cellulaire. Il sert de support à la repousse de la peau et du collagène. Les essais sur l'homme devraient commencer l'an prochain.

BLOQUER L'ÉCLAIREUR DU CANCER

● **Pour se répandre à travers le cerveau, le gliome (tumeur du tissu nerveux) utilise une petite molécule baptisée "brevican", que vient de découvrir une équipe de chercheurs de l'école de médecine de l'université Yale (Etats-Unis). La brevican étant spécifique du gliome, c'est une cible facile à repérer. Les neurologues cherchent désormais un moyen de neutraliser cette molécule, ce qui empêcherait la formation de métastases.**

EPIDÉMIOLOGIE

LES MALADIES DU CAPITALISME

■ **Depuis que l'Allemagne de l'Est s'est ouverte à l'Ouest, les enfants y sont deux fois plus victimes de rhumes des foins et souffrent une fois et demie plus d'allergies. Ce phénomène serait dû à l'amélioration des conditions de vie. Le chauffage domestique et la présence de moquettes et de tapis sont en effet des facteurs qui accroissent l'exposition aux acariens, responsables de nombreuses allergies.**

L'exposition accrue aux acariens explique l'augmentation des allergies dans l'ex-RDA.

MECKES/OTTAWA/COSMOS

GÉNÉTIQUE

Le gène qui protège du tabac



D. CAIRNS/SIPA PRESS

L'équipe du Pr Wolf (devant) a isolé un gène impliqué dans l'apparition du cancer du poumon.

Tous les fumeurs ne développent pas un cancer des poumons. Pourquoi ? C'est une affaire d'enzymes chargées de dégrader les substances cancérigènes. Roland Wolf et ses collaborateurs de l'unité de pharmacologie moléculaire de l'hôpital Ninewell, à Dundee (Ecosse), se sont aperçus qu'une mutation du gène de l'enzyme glutathion S-transférase rend les souris particulièrement vulnérables à un cancer induit par le tabac.

Cette découverte pourrait déboucher sur des tests de prévention, des thérapies géniques ou médicamenteuses pour plusieurs cancers provoqués par des substances toxiques.

NUTRITION

L'ACIDE FOLIQUE DONNE BON CŒUR

■ La consommation quotidienne d'aliments enrichis en acide folique permettrait de prévenir les accidents coronariens : c'est la conclusion d'une étude américaine publiée par le *New England Journal of Medicine*. L'acide folique, naturellement présent dans la levure de bière, les germes de blé, les haricots secs, le camembert, les épinards, les lentilles et les salades vertes, est une vitamine du groupe B, dont la carence est à l'origine d'anémies. L'administration américaine préconisait déjà aux femmes enceintes une supplémentation en acide folique afin de prévenir de graves anomalies congénitales du tube neural (*spina bifida*) chez le fœtus. Elle pourrait désormais être recommandée à l'ensemble de la population américaine.

P. R.

Les céréales contiennent de l'acide folique, bon pour le cœur.

M. HARWOOD/FOTOGRAM-STONE

LA MOLÉCULE DE LA CRISE CARDIAQUE

● Une équipe internationale de chercheurs vient de démasquer un gène impliqué dans une pathologie jusque-là inexpliquée : la fibrillation ventriculaire idiopathique. Ce type de crise cardiaque, qui touche notamment les jeunes adultes, représente jusqu'à 12 % de l'ensemble des arrêts cardiaques. Le gène incriminé code pour une molécule fondamentale pour le rythme cardiaque. Son identification devrait permettre un dépistage précoce de la maladie. O. B.

INTERVENTION SUR INTERNET

● Une délicate fracture du tibia embarrassait le médecin des urgences de l'hôpital royal de Manchester (Grande-Bretagne). Il prit donc contact par téléphone avec un chirurgien. Des radios scannérisées et des photos prises avec un appareil numérique furent placées sur le site Internet de l'hôpital. Après les avoir consultées, le spécialiste indiqua la marche à suivre. Entre l'arrivée du patient aux urgences et la décision du type d'intervention, il ne s'est écoulé que onze minutes. P. R.

HAUTES PRESSIONS CONTRE PARALYSIE

● Les caissons hyperbares qu'on emploie pour traiter les plongeurs remontés à la surface sans paliers de décompression pourraient également servir à réduire, voire à prévenir, la paralysie de patients souffrant d'une lésion au niveau de la moelle épinière. Grâce à des études sur des animaux de laboratoire, Philip James, de l'université de Dundee (Ecosse), a montré que les hautes pressions obligent les globules rouges des capillaires sanguins de la colonne vertébrale à pénétrer dans la zone lésée de la moelle épinière. Ainsi oxygénés, les nerfs lésés récupèrent rapidement. Ce traitement n'est cependant approprié qu'aux blessures légères de la moelle. P. R.

● Ont collaboré à cette rubrique : Olivier Blond, Pierre Rossion.

CHIRURGIE

Des robots dans le cœur



GAMMA

Ce robot-chirurgien qui opère à cœur ouvert a permis d'effectuer six interventions à l'hôpital Broussais, à Paris.

Pour la première fois au monde, six interventions de chirurgie cardiaque robotisée ont été effectuées à l'hôpital Broussais (Paris). Réussites de la technologie américaine mise au point par la société Intuitive Surgical et de l'équipe d'Alain Carpentier et Didier Loulmet, ces opérations consistent à introduire dans le cœur une caméra et des outils miniaturisés commandés à distance par le chirurgien.

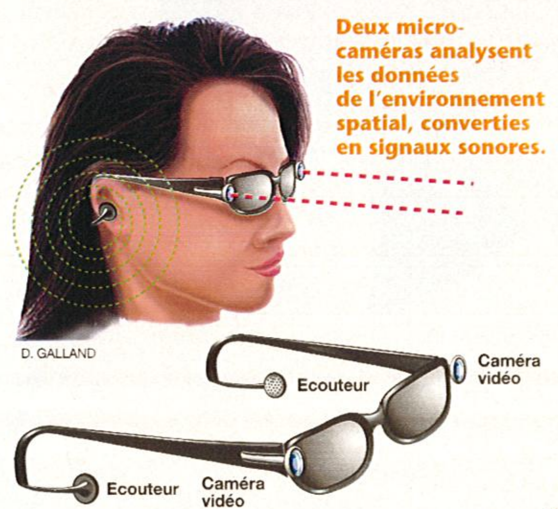
Moins traumatisante pour le malade, cette technique devrait permettre de réaliser plus aisément certaines opérations délicates.

PROTHÉTIQUE

Les oreilles qui voient

Des lunettes destinées à l'orientation des aveugles : c'est une invention de la faculté de médecine et de l'institut d'astrophysique des Canaries (Espagne). Deux micro-caméras vidéo placées à l'articulation des branches des lunettes analysent l'environnement en 3D. Ces données spatiales sont ensuite converties en signaux sonores qui renseignent sur le volume et la distance des objets. Très rapidement, le patient parvient à se diriger dans cet environnement sonore.

Les ingénieurs s'attachent actuellement à transformer le prototype en un dispositif léger, confortable et esthétique. Malheureusement, ces lunettes ne seront pas commercialisées avant plusieurs années. P. R.



D. GALLAND

Deux micro-caméras analysent les données de l'environnement spatial, converties en signaux sonores.

NICOLAS II

Qui va-t-on inhumer à Saint-Pétersbourg ?

■ Vieille de quatre-vingts ans, l'énigme du massacre des Romanov n'en finit pas de diviser les chercheurs. Alors que les restes du tsar Nicolas II et de sa famille vont être inhumés à Saint-Pétersbourg, les généticiens et les historiens s'opposent maintenant sur leur authenticité.

PAR PIERRE ROSSION

L'énigme de la mort du tsar Nicolas II et de sa famille, dans la nuit du 16 au 17 juillet 1918 à Iekaterinbourg (Russie), est-elle en passe d'être résolue ? Après l'annonce par Boris Eltsine du transfert des ossements impériaux à Saint-Pétersbourg, le 17 juillet prochain, à l'occasion du quatre-vingtième anniversaire de la nuit tragique, on pourrait le croire.

En fait, quand on y regarde de près, on constate, au contraire, que le mystère ne fait que s'épaissir. Les historiens et les généticiens ne sont pas du tout d'accord sur l'authenticité

Les crânes de la polémique

Ces crânes sont-ils ceux de la famille impériale russe (page ci-contre) ? Les résultats des tests génétiques pratiqués par un laboratoire britannique l'affirment. Pourtant, de nombreux éléments historiques plaident contre cette conclusion.


MOSCOOP

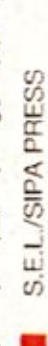
des restes découverts en 1976. Les tests génétiques disent que ce sont ceux de la famille impériale. Faux, répondent certains historiens, sur la foi de plusieurs témoignages. La divergence est telle qu'Alexis II, le patriarche de Russie, hésite à bénir les reliques, lors des funérailles officielles, qui vont se dérouler dans la cathédrale Pierre-et-Paul de l'ancienne capitale des tsars.

« A mon avis, tout ça est un coup monté ! Les ossements de la famille du tsar de toutes les Russies sont comme le monstre du Loch Ness : on les redécouvre quand le besoin s'en fait sentir », nous dit Marc Ferro, directeur d'études à l'Ecole des hautes études en sciences sociales (1).

En l'occurrence, il s'agit cette fois de tirer un trait sur la révolution d'Octobre, quitte à laisser échapper le trésor des Romanov. Dans une interview au journal russe *Tribuna*, le 18 avril dernier, l'académicien Véniamine Alexeïev, directeur de l'institut d'histoire et d'archéologie de l'Académie des sciences de Russie et membre de la commission d'enquête sur l'authentification des restes de la famille impériale, précise qu'en janvier 1917 Nicolas II déposa en Angleterre 4,5 tonnes d'or, en son nom personnel. Or, l'actuel président de la Géorgie, Edouard Chevardnadze, a reconnu, quand il était ministre des Affaires étrangères de Mikhail Gorbatchev, que la Russie n'avait plus aucun droit sur ce trésor (ce dernier reviendrait alors à la Grande-Bretagne), sauf si un héritier direct se présentait. D'où la crainte de Véniamine Alexeïev de voir le magot échapper à un éventuel descendant, car, selon lui, « les funérailles de Saint-Pétersbourg vont, en quelque sorte, marquer la reconnaissance officielle de la fin des Romanov ».

UN RÉCIT CONTESTÉ

Selon la version traditionnelle, rapportée par tous les livres d'histoire, la chronologie des événements s'établit ainsi : le 23 mai 1918, Nicolas II, sa femme Alexandra, le tsarévitch Alexis et les quatre grandes-duchesses Olga, Tatiana, Marie et Anastasia sont prisonniers des Rouges (les Bolcheviks) à Iekaterinbourg, dans la maison du marchand Ipatiev. Ils sont gardés par des ouvriers des usines locales, sous la di- ■ ■ ■


S.E.L./SIPA PRESS



(1) Auteur de *Nicolas II*, Petite Bibliothèque Payot.

■ ■ ■ rection du commissaire spécial Jakov Iourovski. Mais, devant la progression des Blancs (les partisans du régime tsariste), le Comité exécutif central de Moscou va décider l'exécution de la famille impériale.

La scène terrible a été maintes fois racontée : dans la nuit du 16 au 17 juillet, les prisonniers sont réveillés et réunis au rez-de-chaussée. Iourovski leur annonce qu'il est dans l'obligation de les exécuter. Le tsar et le tsarévitch tombent sous les balles, suivis par la tsarine et ses filles. Les corps sont chargés sur un camion, qui prend la direction de la forêt toute proche. Au lieu-dit les Quatre-Frères, distant de 18 km d'Iekaterinbourg, les corps sont découpés en morceaux, arrosés avec de l'acide sulfurique, brûlés avec de l'essence et précipités au fond d'un puits de mine, dans lequel on jette plusieurs grenades. De la famille il ne reste plus qu'un amas de cendres et de boue, que les Blancs découvrent horrifiés, une semaine plus tard, quand ils pénètrent dans Iekaterinbourg.

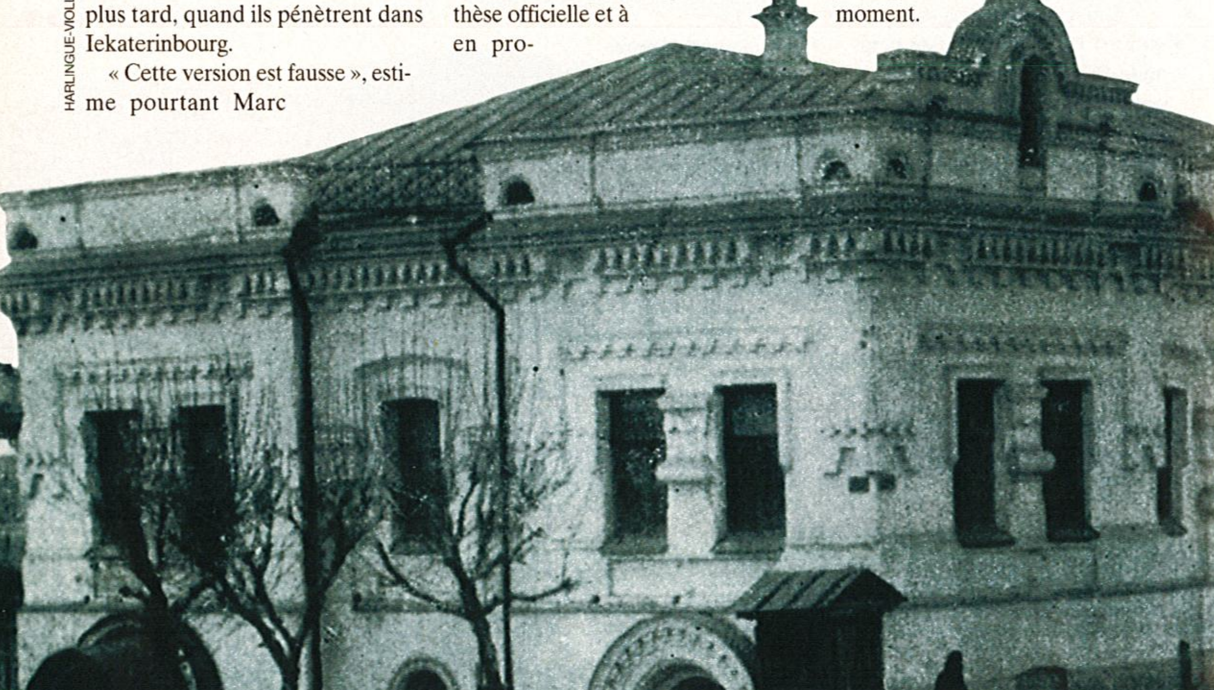
« Cette version est fausse », estime pourtant Marc Ferro. A partir de plusieurs témoignages et de documents inédits trouvés dans les archives russes et européennes, l'historien est parvenu à réduire en charpie la thèse officielle et à en proposer une autre, moins "politiquement correcte". Cette nouvelle thèse n'est pas originale. Elle avait déjà été émise dans les mois qui suivirent le drame. Mais tous ceux qui avaient eu l'audace de l'énoncer moururent de façon suspecte. A l'époque, ce n'étaient pas les historiens qui écrivaient l'histoire, c'étaient les dignitaires du régime, selon les nécessités politiques du moment.

Deux tombes pour une seule famille

Selon la version officielle, les corps des victimes ont été jetés dans un puits de mine, au lieu-dit les Quatre-Frères (ci-dessous), à 18 km d'Iekaterinbourg. Or, ceux que l'on vient d'"authentifier" ont été trouvés 15 km plus loin (ci-contre).


E. KONDAKOV/MOSCOOP


SIPA PRESS

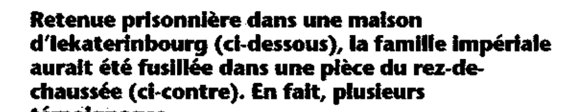

HARLINGUE-VIOLLET

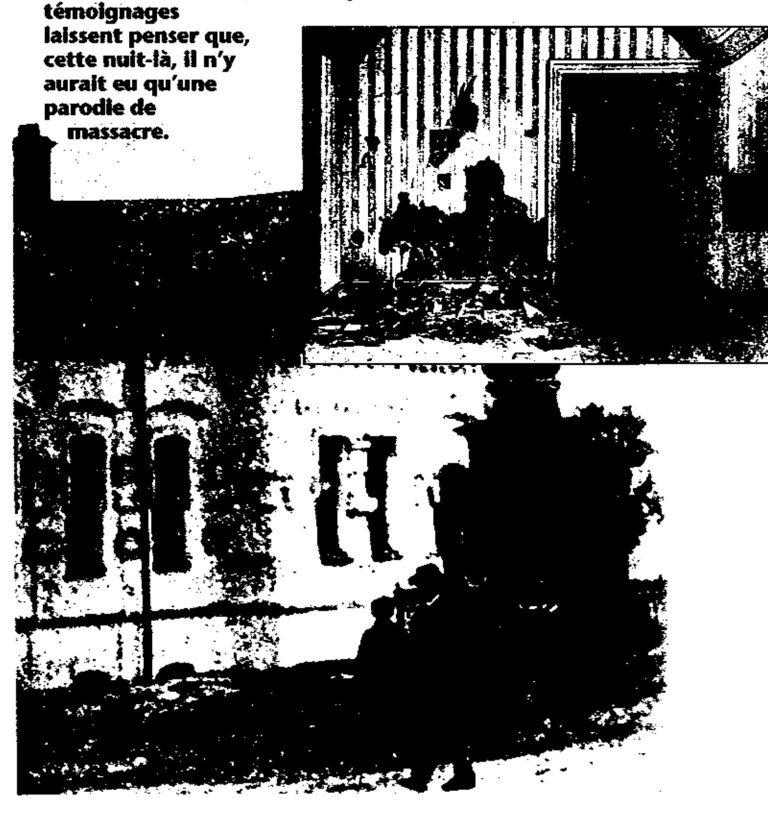
Marc Ferro note par exemple que le journal russe *Ouralski Rabotchi* du 23 juillet 1918 a annoncé la seule exécution du tsar Nicolas II, en précisant que le reste de la famille était mis en lieu sûr. Plus étrange, il relate qu'un moine appelé Iliodor, en visite au Kremlin, avait trouvé chez Mikhail Kalinine, président du comité exécutif des Soviets, la tête momifiée de Nicolas II sous une cloche de verre.

Encore plus troublant est le rapport du capitaine Malinowski, un officier blanc qui entra avec ses troupes dans Iekaterinbourg le 25 juillet 1918. Après enquête, il conclut qu'on avait fusillé plusieurs personnes à la maison Ipatiev, afin de simuler le meurtre de la famille impériale. Un autre document, trouvé aux archives britanniques par deux journalistes de la *BBC*, Anthony Summers et Tom Mangold, indique que, le 17 juillet, un train a quitté la gare d'Iekaterinbourg tous rideaux baissés, avec à son bord l'impératrice, le tsarévitch et les quatre grandes-duchesses. Enfin, la présence de la tsarine et de ses filles est signalée à Perm, ville située à environ 300 km à l'ouest d'Iekaterinbourg.

C'est d'ailleurs de cette ville qu'Anastasia se serait enfuie après avoir été frappée et sans doute violée. Mais elle fut rattrapée. Le Dr Outkine, qui la soigna, fit le récit de son intervention le 10 février 1919. Anastasia ne serait cependant pas la fameuse Anna Anderson, qui, dès 1920, prétendait être la fille du tsar. Il a été démontré qu'il s'agissait d'une paysanne polonaise, Franzisca Schanzkowska.

Pour Marc Ferro, le principal témoignage qui établit la présence de la famille impériale à Perm émane d'un prince espagnol, Alexis de Durazzo, petit-fils d'une princesse qui affirmait être Marie, l'une des filles de Nicolas II. A 71 ans, celle-ci a laissé un témoignage, « à ouvrir dans dix ans », qu'Alexis a publié en 1982. Elle y décrit son parcours, depuis son départ de Perm.





Retenue prisonnière dans une maison d'Iekaterinbourg (ci-dessous), la famille impériale aurait été fusillée dans une pièce du rez-de-chaussée (ci-contre). En fait, plusieurs témoignages laissent penser que, cette nuit-là, il n'y aurait eu qu'une parodie de massacre.

COLLECTION VIOLLET

LA CHANCE SOURIT AUX HISTORIENS...

Le mystère de la famille du tsar devait connaître un nouveau rebondissement en 1976, quand deux historiens amateurs, Gely Ryabov et Alexander Avdonine, découvrirent, à une trentaine de kilomètres d'Iekaterinbourg, une fosse commune dans laquelle ils mirent au jour les restes de neuf personnes, dont la génétique établit plus tard que cinq d'entre elles appartenaient à la famille du tsar. Les historiens attendirent cependant 1991 pour révéler leur découverte, le temps que les mœurs politiques changent.

Mais, pour Véniamine Alexeïev, cette découverte est cousue de fil blanc : « Je suis archéologue et je sais qu'il faut des années pour trouver quelque chose d'intéressant. Or, qu'ont fait nos deux amateurs ? Ils ont tout de suite trouvé la fosse et ont mis au jour les ossements. »

Autre bizarrerie, la fosse commune se trouvait non pas aux Quatre-Frères, mais 15 km plus loin. Le crâne supposé du tsar était bien là, alors qu'on l'avait vu jadis chez Mikhail Kalinine. Mais, surtout, il était lisse comme un œuf. Ce qui est pour le moins étonnant, car, en 1891, alors qu'il effectuait un voyage au Japon, le futur Nicolas II, alors tsarévitch, avait reçu d'un samouraï, au niveau de la tempe, un coup de sabre qui provoqua une excroissance osseuse. Et puis, pourquoi a-t-on retrouvé les ossements de la tsarine et de ses filles aînées, Olga, Tatiana et Marie, alors que, selon plusieurs témoignages, elles ont été épargnées.

Pour s'assurer que les ossements étaient bien ceux de la famille impériale, le biologiste russe Pavel Ivanov ■ ■ ■

■ ■ ■ a eu l'idée de comparer l'ADN des ossements impériaux avec des échantillons tissulaires prélevés sur deux parents de la famille du tsar : le prince Philip, duc d'Edimbourg, petit-neveu par sa mère de la tsarine Alexandra; et le grand-duc Georges, frère du tsar, qui fut exhumé pour la circonstance (2). Les analyses furent effectuées en Grande-Bretagne, au laboratoire d'analyses légales de Reading, dirigé par Peter Gill. Le travail fit l'objet d'une publication, en février 1994, dans *Nature Genetics*, revue scientifique de grand renom. Afin de vérifier la qualité du travail, nous nous sommes adressé à Luc Rexach, du laboratoire de police scientifique de Paris. Sa réponse est sans ambiguïté : « C'est un travail très carré, qui semble présenter toutes les garanties de sérieux. »

LES ANGLAIS JUGE ET PARTIE

La première étape du travail de Peter Gill a consisté à extraire l'ADN nucléaire (élément fondamental des chromosomes) des cellules osseuses de chacun des squelettes. Puis à comparer tous les ADN les uns aux autres. L'élément de comparaison était des séquences répétitives de quatre bases, appelées STR (*short tandem repeats*), qu'on trouve naturellement dans toute molécule d'ADN. Comme les chromosomes vont par paire dans les cellules, l'un étant hérité du père, l'autre de la mère, on trouve donc x STR dans un chromosome et y STR dans l'autre. En comparant les STR des cinq membres de la famille impériale, les chercheurs ont conclu que deux d'entre eux ne pouvaient être que les parents des trois autres.

Restait à s'assurer que c'étaient bien ceux de la famille impériale. L'équipe de Peter Gill a fait appel à de l'ADN mitochondrial (les mitochondries sont les centrales énergétiques de la cellule), qui a l'avantage d'être présent en grande quantité (une centaine de mitochondries par cellule et autant de copies d'ADN par mitochondrie) et d'être transmis intégralement et uniquement par la mère. En comparant la séquence génétique de l'ADN mitochondrial de la tsarine à celle d'un échantillon de sang du duc d'Edimbourg, les chercheurs de Reading ont constaté qu'elles étaient statistiquement identiques. Ils ont ensuite effectué le même travail sur l'ADN mitochondrial du tsar et celui de son frère. Eux aussi étaient statistiquement identiques. Les généticiens britanniques en déduisirent que les ossements avaient de grandes chances d'être ceux de la famille impériale.

Ce qui laisse sceptique le biologiste Lev Jivotovski, de l'Académie des sciences de Russie. En effet, à Saint-Pétersbourg, lors d'un récent congrès scientifique consacré à Nicolas II, il a déclaré qu'il ne croyait pas aux résultats des Anglais et qu'un supplément d'information était nécessaire.

Pour comprendre la contradiction entre le diagnostic des généticiens et celui des historiens, on ne peut émettre que des hypothèses. Pour trancher, il faudrait élargir les expériences à d'autres personnes, entre autres la mère du prince espagnol et un certain Vassili Filatov, mort en 1988. Le fils de ce dernier, Oleg, prétend que son père était le tsarévitch Alexis (3), ce que les études anthropologiques menées à l'université de Saint-Pétersbourg semblent confirmer.

Mais il faudrait surtout que les expériences soient refaites par un autre laboratoire, ailleurs qu'en Grande-Bretagne, parce que, dans cette affaire, Londres est à la fois juge et partie. En effet, si les ossements d'Iekaterinbourg sont bien ceux des Romanov, il n'y aura plus d'héritier direct à rechercher, et le fameux trésor reviendra à la Grande-Bretagne… ■

(2) Voir Science & Vie n° 969, p. 74.

(3) D'après le journal russe *Segodnia* du 7 mai dernier.



S.E.L./SIPA PRESS

Repos éternel ?

C'est à l'Institut médico-légal d'Iekaterinbourg que sont rassemblés les restes présumés de cinq des sept membres de la famille impériale. Jusqu'à leur inhumation, le 17 juillet prochain, le bâtiment sera gardé par l'armée, étant donné l'enjeu de l'événement.

ASTRONOMIE

Hubble a vu la première

■ **La nouvelle est incroyable. Le télescope spatial a photographié à 450 années-lumière une planète deux ou trois fois plus massive que Jupiter. Attendons quand même la confirmation de cette annonce triomphaliste de la NASA.**

PAR PHILIPPE HENAREJOS

Alors que les astronomes attendaient sagement la première image d'une planète hors du système solaire pour les environs de 2005 (voir *Science & Vie* n° 969, p. 54), le télescope spatial *Hubble* a une fois de plus devancé tous les autres instruments, en produisant un cliché fabuleux : celui d'une planète distante de 450 années-lumière.

Là, tout près d'une étoile jeune, à peine âgée de quelques centaines de milliers d'années, un minuscule point brillant souligné par une longue queue gazeuse ne serait autre qu'une planète de deux à trois fois plus massive que Jupiter.

Le cliché n'est pas sans rappeler la première plaque photographique de Pluton, publiée en 1930 par Clyde Tombaugh; sur la planète, aucun détail n'est visible, mais elle est bien là. Et la NASA, toujours prompte à vanter les mérites de son télescope préféré, n'a pas hésité à décrire en détail, à grands renforts d'animations vidéo, ce nouveau monde provisoirement baptisé TMR-1C comme si l'une de ses sondes le survolait déjà.

De fait, cette image restera peut-être dans l'histoire de l'astronomie comme la première jamais obtenue d'une planète étrangère au système solaire. Peut-être… Car la nouvelle doit encore être confirmée.

Une question s'impose d'emblée : comment *Hubble* a-t-il réussi un exploit que personne ne croyait possible avant quelques années ? Par un extraordinaire concours de circonstances : l'astronome américaine Susan Terebey a pris cette image alors qu'elle étudiait une région de formation d'étoiles dans la constellation du Taureau à l'aide de la caméra infrarouge (NICMOS) du télescope spatial. Elle fut alors intriguée par cet étonnant petit astre. Là encore, l'histoire semble se répéter, puisque, en 1781, William Herschel découvrit Uranus tout aussi fortuitement en observant le ciel dans la constellation des Gémeaux.

DIX MILLE FOIS MOINS BRILLANTE QUE LE SOLEIL

En outre, il apparaît que la planète se trouve à 1300 unités astronomiques (UA) de son étoile, ce qui est excessivement loin (par comparaison, Pluton, la plus reculée des planètes du système solaire, croise à 40 UA du Soleil). Dans ces conditions, elle se situe suffisamment à l'écart pour ne pas être noyée dans l'éclat de l'étoile. Même si, dans le proche infrarouge, longueur d'onde dans laquelle observe NICMOS, les contrastes entre les étoiles et les planètes sont moins marqués qu'en lumière visible, il fallait absolument que la planète, dix mille fois moins brillante que le Soleil, soit écartée de la sorte.

Mais comment peut-elle occuper une orbite si lointaine alors que les planètes sont censées se former à moins de 40 UA des étoiles ? « Parce qu'elle est en train d'échapper à l'étoile à la vitesse de 10 km/s », répondent les astronomes de la NASA. Si l'astre central est double (ce que suggèrent les auteurs de la découverte), TMR-1C a pu être éjectée hors du système par de puissants effets gravitationnels. Ce qui signifie que ce monde s'éloigne inexorablement de son étoile d'origine pour s'enfoncer dans l'espace interstellaire.

« Ce phénomène est très facile à obtenir en mécanique céleste », commente Stéphane Udry, de l'Observatoire de Genève, membre de l'équipe de Michel Mayor, qui, en 1995, a indirectement détecté la première planète extrasolaire autour de 51 Pegasi.

Cependant, cette découverte ne repose que sur une annonce, et non sur une publication scientifique. Aussi quelques questions doivent-elles être tranchées avant qu'on puisse affirmer que TMR-1C est bien une sœur jumelle de Jupiter. Tout d'abord, compte tenu de sa luminosité, sa température de sur-

planète extrasolaire!



Très loin de son étoile

Tout à côté d'une étoile jeune de 200000 ans encore entourée des nébulosités de son nuage primordial, le télescope spatial *Hubble* a révélé un petit astre discret, susceptible d'être une planète (flèche). Ce nouveau monde, une géante gazeuse plus massive que Jupiter, s'évaderait dans l'espace, traînant derrière lui une queue de gaz et de poussière.

STSCI/NASA

face atteint plus d'un millier de degrés. Est-ce conforme à ce que les modèles décrivent pour une planète gazeuse jeune ? « Il est fort concevable qu'une planète jovienne très jeune ait une température de 1000 à 1500 K », répond Pierre Drossart, de l'Observatoire de Paris-Meudon.

« Il se peut également, avance Stéphane Udry, qu'il s'agisse en fait d'une étoile de faible masse qui aurait été "dépouillée" de son enveloppe par le mécanisme d'éjection du système. La traînée de gaz observée pourrait être alors une partie de cette enveloppe. » Dans ce cas, la planète ne serait qu'une banale étoile (une naine brune ou une naine rouge) au destin un peu particulier.

Enfin, il reste à déterminer si TMR-1C se trouve réellement à 1300 UA de l'étoile. Même si les astronomes de la NASA affirment qu'il n'y a que 2 % de chances que l'astre soit une simple étoile située à plusieurs années-lumière en arrière-plan, cette hypothèse ne peut être totalement écartée. Seule une série d'observations spectroscopiques et astrométriques permettraient de trancher.

Les astronomes en déduiraient la vitesse radiale de la planète, son mouvement propre, et les compareraient à ceux de sa supposée étoile d'origine. Si les différences se révèlent trop grandes, il faudra abandonner l'idée d'une planète. Cette vérification indispensable pour valider l'annonce triomphaliste de la NASA prendra au minimum plusieurs mois… La patience viendra-t-elle récompenser l'enthousiasme empressé de la NASA ? ■



reduce to the max. = réduire au maximum.

DOSSIER

Pourquoi y a-t-il quelque chose plutôt que rien ?

■ Cette interrogation fondamentale qui a parcouru les siècles est aussi une question scientifique. Des expériences de Torricelli aux équations d'Einstein, en passant par celles de la physique de l'infiniment petit, les rapports entre le "rien" et le "quelque chose" ont fasciné les hommes de science. Le rien absolu est-il possible ? Comment l'Univers est-il né du vide originel ? Les réponses de la relativité générale et de la mécanique quantique nous obligent à réévaluer les notions les plus simples et dévoilent une bien étrange histoire du cosmos.

Où est donc le vide ?

■ Inutile d'aller très loin chercher le vide : il est partout ! Non seulement dans l'espace, mais au sein même de la matière. A plus de 99,99 %, l'atome est fait de vide. Pourtant, avant de devenir objet de science, le vide a été violemment rejeté par les philosophes, qui professaient l'"horreur du vide".



Déserts intergalactiques

Cette image (où chaque point blanc est une galaxie) d'une petite portion de l'Univers montre l'inégale répartition de la matière à grande échelle. L'essentiel de l'Univers est constitué d'espaces désertiques où flottent des nuages d'atomes de densités variées.

UNIVERSITÉ D'OXFORD/CIEL & ESPACE

Où chercher le vide, sinon dans le silence des espaces interstellaires ? Quittant la banlieue terrestre, nous croisons les cosmonautes de la navette spatiale qui flottent dans un vide très imparfait, qui contient un milliard d'atomes par centimètre cube. Eloignons-nous du Soleil et gagnons les espaces vierges de la Voie lactée. Atteindrons-nous le vrai vide ? Pas tout à fait, car 10 % de la matière se trouve répandue entre les étoiles, sous la forme de nuages d'atomes, de tailles et de densités très variées.

Mais l'espace interstellaire recèle aussi des zones désertiques, des "coins tranquilles" où l'on rencontre à peine 0,1 atome/cm^3. Si l'on quitte la Voie lactée, on s'aperçoit que les galaxies, comme les étoiles, sont groupées en amas où, là encore, les espaces intergalactiques ne sont pas vraiment inoccupés ; il y flotte des nuages de gaz. Mais certaines poches d'espace contiennent moins d'un atome par mètre cube. Un record, quand on sait que l'air que nous respirons compte quelque 10^{23} atomes/cm^3.

DENTELLES DE PARTICULES

A toutes les échelles, on trouve des régions plutôt désertes, où traînent des nuages d'atomes, et, inversement, des régions plus denses, trouées de vide. Vide et matière ne vivent pas en ghettos séparés, ils s'interpénètrent à tous les niveaux. Selon le point de vue, on peut considérer l'Univers comme plutôt plein ou plutôt vide.

Renversons donc la perspective. Inutile, finalement, d'aller très loin chercher le vide : il est partout ! Non seulement dans l'espace, mais au sein même de la matière, au cœur des atomes. Chaque atome est constitué d'un noyau minuscule autour duquel tournent, au loin, des électrons quasi ponctuels. A plus de 99,99 %, l'atome est fait de vide – et la matière est bâtie sur ce vide.

Tous les objets de l'Univers ne sont que dentelles de particules, édifices arachnéens et pourtant extraordinairement solides et incompressibles, grâce aux forces qui maintiennent les noyaux à distance. Si l'on pouvait comprimer ensemble tous les noyaux et tous les électrons, on mettrait Paris dans un dé à coudre, et la chaîne des Alpes tiendrait dans un bac à sable.

En un sens, le vide est donc partout... Du moins si l'on s'en tient à la définition "atomiste" du vide. Cette conception remonte à la célèbre expérience du physicien italien Evangelista Torricelli (1634), qui démontra que l'air a un poids



Un objet d'expérience

En 1644, Evangelista Torricelli, disciple de Galilée, réalise une expérience qui devient immédiatement célèbre. Il emplit de mercure un tube en verre, le bouche du doigt et le retourne sur un bassin lui aussi plein de mercure. Dans le tube, le mercure descend, laissant un espace… vide. Torricelli comprend que la hauteur du mercure dépend de la pression de l'air sur la cuve, qui équilibre le poids du mercure dans le tube. Il propose d'utiliser ce dispositif pour mesurer les changements de pression atmosphérique. Il vient d'un seul coup de prouver l'existence du vide, de mesurer le poids de l'air et d'inventer le baromètre !

– et, corrélativement, prouva l'existence du vide comme "absence d'air" (ou du moins atmosphère raréfiée).

Mais, jusqu'au XVIIe siècle, le débat sur le vide avait été purement philosophique et religieux, dominé (du moins en Occident) par l'"horreur du vide". Les plus grands philosophes grecs, Aristote, Platon, Parménide, cherchèrent à prouver que le vide est impossible : « Le non-être ne peut être », « Le vide n'ayant ni résistance, ni haut, ni bas, empêcherait tout mouvement ; donc le vide ne peut exister. »

Dans le camp opposé, les atomistes de ■ ■ ■

■ ■ ■ l'Antiquité, Démocrite, Epicure, Lucrèce, pensent que « si ce que nous appelons vide n'existait pas, les corps ne sauraient où se tenir ni où se mouvoir ».

Ce n'est qu'avec Galilée et son élève Torricelli (puis avec Pascal, Boyle et beaucoup d'autres) que le vide devient objet d'expérience, et non plus d'horreur. Et Newton, atomiste convaincu, prend cet espace vide comme cadre de sa mécanique. Cependant, cette vision du vide comme espace entre les atomes, ou comme absence de particules, fut bien vite insuffisante. Une question fondamentale taraudait les savants : comment un espace vide peut-il transmettre à distance les forces d'attraction entre les corps (la gravitation, par exemple) ?

UN ETHER PAR TROP INCONSISTANT

Au XIX[e] siècle apparaissent de nouveaux objets, étrangement immatériels : les ondes électromagnétiques. Mais comment concevoir des ondes sans un milieu qu'elles font vibrer – comme les ondes sonores font vibrer l'air ? Voilà donc le vide remplacé par un vague "éther", milieu indéfini qui doit servir de support aux ondes et transmettre les forces.

Au tournant de notre siècle, l'éther, trop inconsistant, est mis à mal par la célèbre expérience de Michelson et Morley, destinée à détecter sa présence… et qui n'en décèle aucune trace. Les ondes électromagnétiques voyagent bien dans le vide. Le vide est rempli de lumière bien plus que de matière – les photons, particules de lumière dépourvues de masse, sont des millions de fois plus nombreux que les atomes dans l'Univers.

Newton le prend comme cadre de sa mécanique

En 1905, Einstein donne le coup de grâce à l'éther avec sa théorie de la relativité restreinte et réhabilite le vide – désormais compris comme absence de particules, mais aussi de rayonnement. Pas pour longtemps ! Dans les années 20 et 30, le vide va subir les assauts des deux nouvelles théories qui révolutionnent la physique et bouleversent notre vision du monde : la relativité générale et la physique quantique. Chacune à sa manière a "horreur du vide" ! ■

Le "rien"

■ Même sans atome, même sans rayonnement, l'espace contient toujours "quelque chose". Le néant absolu n'est pas de ce monde. Le vide est plein d'énergie, de champs et de particules à l'état "virtuel". Autant que la matière, il joue un rôle clef en physique.

FOTOGRAM-STONE IMAGES

Prenez un petit coin d'espace, ôtez-lui soigneusement jusqu'au dernier atome, extirpez-en l'ultime particule. Faites le noir complet dans votre domaine, protégez-le de toute radiation : même le "rayonnement de fond cosmologique", qui baigne l'Univers tout entier, n'a pas droit de cité dans votre petit espace. Plus le moindre grain de matière, plus d'ondes, plus d'énergie, plus rien : vous pensez avoir obtenu le vide parfait. Erreur ! Même sans particule, même sans rayonnement, l'espace contient toujours "quelque chose". Le néant absolu n'est pas de ce monde. Tel est le décret de la physique quantique.

Le vide physique, ou "vide quantique", est vide de particules réelles, mais plein d'énergie, de champs et de particules à l'état "virtuel". Un "vide plein" : c'est l'un des paradoxes dont regorge la mécanique quantique. Dans ce domaine de la physique, qui décrit l'univers des particules et des atomes, les lois de la nature sont radicalement différentes de celles qui régissent le monde à notre échelle…

Première différence : alors que la physique classique connaît deux types d'objets – les particules et les ondes –, le monde quantique n'admet qu'une seule sorte d'objets, ni ondes ni particules, mais "entre deux", possédant certaines propriétés des unes et des autres. Il est difficile de se défaire des images classiques – les électrons semblables à des billes microscopiques, ou les ondes électromagné-

est impossible

tiques évoquant des vaguelettes sur l'eau. Pourtant, les électrons peuvent former des interférences, tout comme des ondes… Quant aux ondes électromagnétiques, on peut les considérer aussi comme formées de "particules" de champ électromagnétique : les photons.

Deuxième caractéristique du monde quantique : il est flou. En physique classique, tout est clair, net et tranchant, les particules sont ponctuelles et matérielles, les trajectoires précises, et le vide… vraiment vide. En physique quantique, tout est flou comme par un matin de brume. Les particules n'en sont pas tout à fait, et les ondes se prennent pour des particules.

Par exemple, un objet quantique ne possède pas à la fois une position et une vitesse déterminées. C'est ce qu'expriment les célèbres "relations d'incertitude" de Heisenberg, mal nommées, car elles caractérisent non pas une incertitude (liée à la mesure) mais une indétermination fondamentale (de l'objet lui-même) : il y a forcément du flou quelque part – soit sur la position, soit sur la vitesse de la particule.

De même, la frontière entre le vide et le plein n'est pas franchement délimitée. Même le "rien" n'est pas absolu, il est flou. Et le flou du rien, c'est forcément quelque chose ! Plus précisément, un système, même dépourvu de particules réelles et qui n'est traversé par aucun rayonnement, possède une énergie qui n'est jamais tout à fait nulle. Il contient des champs (comme le champ électromagnétique) qui ne peuvent s'éteindre entièrement et dont l'énergie ne descend pas au-dessous d'une valeur résiduelle dite "état fondamental". Ainsi le vide quantique répond-il à la définition (quelque peu barbare) d'"état fondamental d'énergie minimale d'un système sans particules réelles".

Cette énergie du vide se manifeste par des effets aussi discrets qu'extravagants : les "fluctuations quantiques". Ces fluctuations autour de l'état minimal consistent en apparitions de ■■■

J. M. JOLY/CIEL & ESPACE

Le mirage du vide quantique

De même que le désert le plus aride abrite un peu de vie, le vide parfait est une illusion. Le vide quantique contient de l'énergie, susceptible de fluctuations (représentées ci-dessus) donnant naissance à des particules éphémères.

paires particule-antiparticule qui surgissent du vide et s'annihilent presque aussitôt.

Comment des particules peuvent-elles naître ex nihilo, en violation flagrante du principe de conservation de la masse-énergie (rien ne se perd, rien ne se crée) (1) ? Grâce au principe d'indétermination de Heisenberg, qui "tempère" la loi en l'entourant d'une zone de flou où les petits écarts sont autorisés. Le principe de Heisenberg énonce que le produit de l'indétermination (ou incertitude) de l'énergie d'une particule par l'indétermination de sa durée de vie est supérieur ou égal à une certaine valeur. Cette valeur, qui définit en fin de compte l'amplitude du flou quantique, est égale à la constante de Planck (notée h, elle vaut $6,622 \times 10^{-34}$ joule.seconde) divisée par 4 π.

(1) Masse et énergie sont équivalentes et peuvent se transformer l'une en l'autre selon l'équation d'Einstein $E = mc^2$.

Lors d'une fluctuation, le vide "prête" l'énergie nécessaire à la création des particules pendant un instant extrêmement bref, puis les particules retournent au néant, restituant l'énergie empruntée. Mais le produit de la durée de vie des particules par l'énergie cédée ne peut dépasser h/4 π : ainsi, la permission de sortie a été si courte que ces particules, cantonnées dans le flou quantique, demeurent indécelables. C'est pourquoi on les dit "virtuelles".

Dans les coulisses de l'Univers, le vide tire les ficelles de la matière

Par définition, le vide (même quantique) est inobservable, comme les particules virtuelles qu'il engendre. Le vide quantique étant une construction théorique, comment savoir si ses fluctuations relèvent de spéculations, ou si elles recèlent quelques signes de "réalité" ?

Heureusement, les fluctuations ont des effets indirects qu'on peut détecter : par exemple, l'"effet Lamb". A proximité de l'électron d'un atome surgissent constamment des paires virtuelles électron-positon qui, pendant leur courte apparition, s'orientent par rapport à cet électron (l'électron virtuel est repoussé par l'électron réel, le positon virtuel est attiré). Ce phénomène de polarisation du vide engendre un petit décalage dans l'énergie des électrons atomiques, décalage qui a été calculé grâce à la théorie électrodynamique quantique et très précisément mesuré ensuite.

INTERMÉDIAIRE INDISPENSABLE

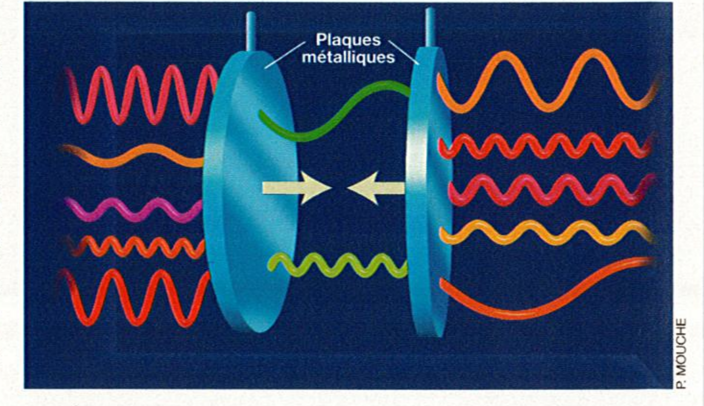
Plus spectaculaire est l'effet des fluctuations du vide, démontré par le physicien néerlandais Hendrik Casimir : si l'on fait le vide entre deux plaques métalliques, elles s'attirent très légèrement (voir le dessin ci-dessous), ce qu'on peut interpréter comme une "pression négative" entre les plaques, où régnerait un vide "plus vide que le vide".

Depuis quelques années, le vide se voit attribuer un rôle de plus en plus central en physique : il serait même l'intermédiaire indispensable à toutes les interactions entre particules. Ainsi, selon certaines interprétations, pour qu'un atome émette de la lumière, il faut que le vide autour de lui dispose d'"oscillations virtuelles" capables de se mettre en phase avec l'onde lumineuse émise… Dans cette vision de la physique, le vide, caché dans les coulisses de l'Univers, tire les ficelles de la matière.

Ainsi, le vide peut être perçu comme une "mer" de particules virtuelles, porteuses de toutes les interactions entre particules. Selon la

L'"EFFET CASIMIR"

Si l'on place deux plaques métalliques parallèles dans une boîte où l'on a fait le vide, celles-ci se rapprochent légèrement ! Explication : les fluctuations du vide quantique engendrent des particules virtuelles au comportement ondulatoire. Entre les plaques, seules peuvent surgir des particules dont l'onde associée s'annule au contact des plaques (c'est-à-dire telles que la distance entre les plaques est un multiple de leurs longueurs d'onde). Cette condition limite les niveaux d'énergie permis, donc le nombre de particules virtuelles entre les plaques. A l'extérieur de celles-ci, en revanche, toutes les longueurs d'onde sont permises : les particules, plus nombreuses, exercent une pression qui tend à rapprocher les plaques.



P. MOUCHE

théorie dite "standard", les forces de la nature sont transmises entre les particules matérielles par des particules virtuelles appelées "bosons".

Ces forces fondamentales sont au nombre de quatre : la force électromagnétique, qui s'exerce entre les particules chargées ; la force nucléaire faible, responsable de certaines désintégrations radioactives ; la force forte, qui "colle" les particules à l'intérieur des noyaux atomiques ; enfin, la gravitation, qui est tellement plus faible que les autres que l'on n'en tient pas compte à l'échelle des particules. Le vide dissimulerait à l'état virtuel les bosons de toutes ces interactions…

Quelle énergie renferme le vide, gonflé de toutes ces particules virtuelles ? Cette question, apparemment ésotérique, pourrait conditionner l'avenir de l'Univers. A grande échelle, en effet, règne sans partage la force de gravitation. Or, selon la relativité générale (qui est la théorie moderne de la gravitation, énoncée par Einstein en 1916), la courbure géométrique de l'espace-temps est modelée par les masses – ou les énergies – qu'il contient. Le contenu de l'Univers détermine donc sa forme et, au-delà, son évolution.

Actuellement, l'Univers est en expansion. Mais la gravitation, qui tend à concentrer sa matière et à courber l'espace-temps, s'oppose à l'expansion. Dans cette lutte, l'élément décisif est la densité de l'Univers : si elle est très élevée, la gravitation l'emportera, et l'Univers ira en se contractant de plus en plus. Si, au contraire, l'Univers est très peu dense, son expansion ne sera pas entravée par la gravitation et se poursuivra éternellement.

UN ARTIFICE REMIS AU GOÛT DU JOUR

Or, la densité de l'Univers dépend évidemment de celle du vide. Ce qui nous amène, si étrange que cela paraisse, au problème de la "constante cosmologique". De quoi s'agit-il ? Dès 1916, Einstein s'était aperçu que sa relativité générale décrivait un Univers non statique – soit en expansion, soit en contraction. Mais ce monde en évolution perpétuelle lui parut inadmissible, et il ajouta à ses équations une "constante cosmologique", artifice mathématique dont l'unique fonction était de rendre l'Univers statique. Plus tard, il regretta amèrement cette adjonction, d'autant que les observations astronomiques attestaient l'expansion de l'Univers. La constante cosmologique fut donc tenue pour égale à zéro.

Mais – ironie de l'histoire – voilà que les astrophysiciens la remettent au goût du jour, affublée d'un "sens physique" inédit : la constante cosmologique ne serait autre que la densité d'énergie du vide ! C'est donc de cette densité d'énergie que dépend l'avenir de l'Univers : une expansion perpétuelle (univers ouvert) ou une contraction inéluctable (univers fermé).

Comment mesurer la densité d'énergie du vide ? Pas facile, car elle dépend de toutes les particules virtuelles qu'il contient. En fait, les tentatives de calcul aboutissent à une valeur si gigantesque (10^{92} g/cm^3) qu'elle en devient ridicule : un Univers aussi dense se serait effondré sur lui-même à peine créé, et il n'aurait pas vécu plus de quelques secondes.

Or, les observations astronomiques penchent, au contraire, en faveur d'un Univers très peu dense… La physique se trouve confrontée à une contradiction majeure. Le vide quantique est loin d'avoir livré tous ses secrets. ■

Un monde flou, flou, flou !

A l'échelle quantique, tout est "flou", même le vide, dont la frontière avec le plein est mal délimitée. Le vide quantique contient en effet des particules "virtuelles", qui, faute de réalité, ne peuvent être représentées (ci-dessus) que… floues !

COLONNA

Comment le vide a créé l'Univers

Si étrange que cela paraisse, c'est le vide quantique qui a enfanté la matière. Peu après le big bang, il aurait explosé pour donner naissance à l'Univers. Aujourd'hui, il suscite de nombreuses et fécondes théories cosmologiques, qui finiront peut-être par livrer la clef des origines.

Au commencement était le vide... Et d'une fluctuation quantique du vide naquit l'Univers. Telle est la version moderne du fameux big bang. L'histoire de l'origine du monde tente désormais de réunir l'infiniment grand – l'Univers entier – et l'infiniment petit – la théorie quantique. Ce vide quantique originel n'est pas vraiment vide – évidemment, puisque rien ne peut naître du néant absolu. C'est donc un vide plein, un faux vide, qui aurait enfanté la matière. Thème que l'on retrouve dans de nombreuses mythologies : « Le plein provient du vide, et le vide continue à agir dans le plein », dit le *Tao-tê ching*, texte essentiel de la religion taoïste.

Mais la cosmologie n'est pas une cosmogonie : c'est une science, et le modèle du big bang, malgré ses apparences de "mythe de la création", est fondé sur de solides bases observationnelles et théoriques. En revanche, l'introduction du vide dans le modèle du big bang est plus récente, et on ne peut pas encore parler d'une théorie cohérente et achevée – plutôt de plusieurs hypothèses, fécondes mais très discutées.

Selon la théorie dite "standard", l'Univers serait né, il y a environ 15 milliards d'années, d'une "explosion" initiale appelée big bang. L'Univers primordial était infiniment chaud, petit et dense, puis il s'est refroidi et étendu. Particules, forces et rayonnement ont évolué jusqu'à aboutir à notre monde actuel, peuplé de galaxies formées d'atomes.

L'expansion de l'Univers est attestée par de nombreuses observations astronomiques, en particulier par l'existence du "rayonnement de fond cosmologique" qui baigne uniformément tout le cosmos. Seul vestige de l'aube de l'Univers, ce rayonnement fossile a été émis quelques secondes après le big bang.

L'ESPACE-TEMPS EN A HORREUR

La cosmologie dispose d'une théorie qui s'applique à l'Univers entier : c'est la relativité générale, formulée par Einstein en 1916. Elle établit que la force de gravitation exercée par les masses agit sur la structure même de l'espace-temps : celui-ci n'est plus un cadre rigide et immuable mais devient malléable et se courbe selon la matière (ou l'énergie) qu'il contient. Au



Ce nuage de gaz peuplé d'étoiles en formation est issu d'une inhomogénéité de la matière des premiers temps de l'Univers. Ce "grumeau" serait lui-même né d'une fluctuation du vide primordial.

STScI/NASA

passage, il faut souligner que l'espace-temps de la relativité générale ne se conçoit pas sans contenu, donc qu'il n'admet pas le vide ! Comme l'expliquait Einstein à des journalistes qui lui demandaient de résumer sa théorie : « Auparavant, on croyait que si toutes les choses disparaissaient de l'Univers, le temps et l'espace demeureraient quand même. Avec la théorie de la relativité, le temps et l'espace disparaissent avec les choses. »

En cosmologie, la relativité générale décrit l'expansion de l'Univers comme une dilatation de l'espace-temps. Mais elle se heurte à un obstacle théorique insurmontable : l'instant du big bang. La théorie de l'Univers n'englobe pas son origine ; le temps zéro est rejeté dans les ténèbres extérieures, car il correspond à une "singularité mathématique" insoluble : la température et la densité deviennent infinies, et les calculs n'ont plus de sens. La relativité générale ne dit donc rien de l'origine des temps.

D'où l'idée de combler cette lacune… avec du vide – plus exactement, avec le vide quantique. Importé en cosmologie au début des années 80, en provenance directe du monde microscopique, le vide s'y est montré particulièrement fécond. De nombreuses hypothèses sont apparues. L'une des plus en vogue actuellement est celle du vide comme moteur de l'inflation cosmique.

L'idée d'"inflation cosmique" a été proposée pour résoudre une difficulté sur laquelle achoppait la théorie du big bang : elle ne parvenait pas à expliquer la formation des galaxies. Celles-ci résultent du regroupement de poussières cosmiques sous l'effet de la gravitation. Elles ont donc pour origine de petites inhomogénéités, sortes de "grumeaux" du gaz originel qui ont grossi peu à peu. L'ennui, c'est que, d'après le modèle du big bang, les inhomogénéités originelles n'ont pas pu enfler ■ ■ ■

■ ■ ■ assez vite pour engendrer des galaxies.

Pour résoudre l'énigme, l'astrophysicien américain Alan Guth proposa, en 1980, l'astucieux concept d'inflation cosmique. Au tout début de sa vie (à 10^{-35} seconde, d'après les calculs), l'Univers aurait connu une brève phase de dilatation

Les interrogations métaphysiques sont inévitables

exponentielle, atteignant, en une infinitésimale fraction de seconde, des dimensions astronomiques, avant de reprendre le cours d'une expansion plus raisonnable. Or, il se trouve que le vide quantique a toutes les qualités requises pour déclencher une telle inflation.

Le vide exerce en effet une "pression négative" égale à l'opposé de sa densité (cela résulte des équations de la théorie quantique). Cette pression négative peut être interprétée comme une source d'"attraction gravitationnelle négative", autrement dit, d'expansion !

Voici donc l'un des scénarios les plus en vogue : au début, l'Univers était minuscule et vide – un vide quantique, structuré, homogène, gonflé de lois physiques et saturé d'énergie. Un vide si plein qu'on l'a qualifié de "faux vide". Instable, doté d'une pression négative immense, cet "Univers-vide" a brusquement éclaté, s'est dilaté de façon vertigineuse, jusqu'à des dimensions immenses. Ce faisant, le vide a brisé sa belle unité, sa symétrie originelle, et a répandu presque toute son énergie dans l'Univers, sous la forme de particules élémentaires. A l'ère du vide succédait le règne de la matière et du rayonnement. Et du "faux vide" initial, omnipotent, il ne reste plus qu'un "vrai vide", presque dépourvu d'énergie.



La fulgurante expansion de l'Univers

Selon certaines théories, à l'origine, il y avait un "faux vide" ❶, saturé d'énergie et minuscule. Celui-ci aurait enflé démesurément en une fraction de seconde, accouchant d'un univers aux dimensions astronomiques. L'énergie du "faux vide" originel se serait brutalement matérialisée en rayonnements et en particules ❷ baignant dans un vide doté d'une énergie moindre. Après cette brève phase d'inflation, l'Univers aurait continué son expansion à un rythme plus lent. Les particules se seraient regroupées en atomes dont la concentration aurait engendré des étoiles et des galaxies ❸.

Par cette inflation, l'Univers a perdu son harmonie originelle, il est devenu multiple. En une succession de "brisures de symétrie", les forces se sont différenciées, les particules ont acquis des masses diverses. Et, surtout, l'amplification astronomique des fluctuations du vide explique parfaitement les inhomogénéités de densité de matière, qui ont elles-mêmes donné naissance aux galaxies… Mais tous ces succès ne doivent pas faire oublier que l'inflation n'est qu'une théorie au socle fragile, que certains astrophysiciens qualifient de "naïve", voire de "vague et sans fondement".

La cosmologie contemporaine offre au vide des rôles encore plus prestigieux : il n'est plus seulement le moteur de l'inflation, mais devient la matrice même de l'Univers. L'un des modèles les plus spectaculaires est celui du Russe Andréï Linde. L'Univers serait né d'une minuscule fluctuation aléatoire du vide primordial. A cette échelle, l'énergie du vide et

ses fluctuations ont une influence sur les structures de l'espace-temps.

C'est ainsi qu'une fluctuation tout à fait banale du vide aurait dicté à l'Univers son espace-temps propre, ses lois, sa physique, et la façon dont s'est brisée l'unité originelle pour engendrer les forces et les particules que nous connaissons. Rien n'interdit de penser que d'autres fluctuations, différentes, ont pu faire naître d'autres Univers, tels des bulles isolées possédant chacune son espace-temps et ses propres lois physiques ! En fait, on ne le saura jamais, car ces univers-bulles, issus de fluctuations aléatoires, ne peuvent pas communiquer entre eux. On est là aux limites de la science…

Le vide quantique existe nécessairement à l'intérieur d'un espace-temps. Pourtant, certains cosmologistes "radicaux" prétendent partir d'avant même l'espace-temps : non pas du vide, mais du véritable "rien". Mais, par effet tunnel (1), ce "rien" pourrait engendrer un Univers embryonnaire, avec sa structure géométrique… L'objection est évidente : pourquoi l'effet tunnel quantique préexisterait-il à l'espace-temps et à tout le reste ? Cette loi qui précède toute matière évoque furieusement… la divinité. Ici, la cosmologie se fourvoie hors du champ scientifique.

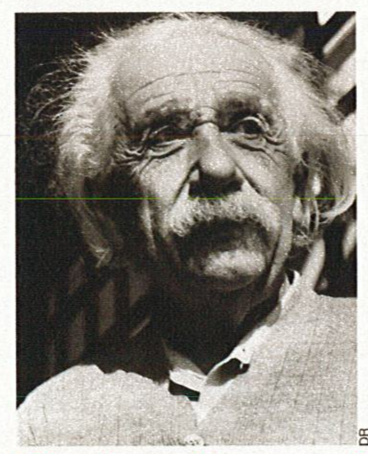
PHYSIQUEMENT INDESCRIPTIBLE

Mais où sont ces limites ? Les interrogations métaphysiques sont inévitables : si le vide quantique a donné naissance à l'Univers, qu'est-ce qui a donc engendré le vide quantique ? On retrouve l'éternelle question sur "l'avant-big bang", juste un peu déplacée. La réponse, on s'en doute, n'appartient pas à la science. Celle-ci ne dispose pas des moyens théoriques, mathématiques, et encore moins expérimentaux, pour y répondre.

Les limites de la physique actuelle sont clairement fixées par la théorie quantique. Tout ce qui se passe "avant" 10^{-43} seconde (ce qu'on appelle le "temps de Planck") est physiquement indescriptible. Car l'énergie est alors si gigantesque que la force de gravitation, généralement négligeable à petite échelle, devient importante. Au-delà de cette "barrière de Planck", l'Univers est à la fois si petit, si dense et si plein d'énergie que les domaines quantique et gravitationnel se rejoignent.

Or, il n'existe aucune théorie capable de marier les effets quantiques et gravitationnels. La relativité générale, qui décrit la gravitation et l'Univers à grande échelle, et la physique quantique, qui règne sur le monde microscopique, semblent totalement incompatibles. Malgré leurs efforts depuis des décennies, les physiciens ne sont pas parvenus à les unifier : la relativité générale ignore les fluctuations, et la physique quantique ne connaît qu'un espace-temps plat et immuable. Généralement, leurs domaines d'élection sont très éloignés. Mais, pour rendre compte des premiers instants de l'Univers, une théorie de la "gravitation quantique" est indispensable. Comment décrire un espace-temps agité par des soubresauts quantiques ? La physique d'aujourd'hui rend les armes.

(1) L'effet tunnel est typiquement quantique : toute particule piégée par une énergie supérieure à la sienne a une probabilité non nulle de s'échapper.


DR


CERN

Mariage impossible

Einstein (à gauche) a consacré trente ans de sa vie à tenter de concilier sa théorie de la relativité générale et la physique quantique. En vain… Quarante-quatre ans après sa mort, les physiciens n'ont toujours pas réussi à fonder une théorie de la "gravitation quantique", seule capable de décrire les premiers instants de l'Univers. Des cosmologistes ont cependant imaginé de brillants scénarios. Pour le Russe Andreï Linde (à droite), le vide quantique pourrait avoir engendré plusieurs univers parallèles.

En attendant cette théorie unitaire, les scénarios de cosmologie font la part belle au vide. Même si elles semblent parfois plus fantaisistes que fondées sur une théorie solide, hypothèses et spéculations fécondent l'imagination et font partie de la science. Qui sait ? Du vide quantique naîtra peut-être une théorie révolutionnaire… ■



Mystérieuse ex
dans la Grande Ourse

Un phénomène d'une puissance énergétique inouïe s'est récemment produit dans la constellation de la Grande Ourse. Cette explosion, la plus fantastique depuis le big bang, a été baptisée "hypernova". Comment est-elle survenue ? Que nous révèle-t-elle de la naissance de l'Univers ?

PAR PHILIPPE HENAREJOS

plosion

DR

La galaxie mère

En février 1998, le télescope spatial *Hubble* a pris cette image de la zone où s'est produit le sursaut gamma du 14 décembre 1997. C'est au sein d'une galaxie spirale très lointaine (flèche) – 12,5 milliards d'années-lumière – qu'a eu lieu l'événement.

Quand ils évoquent l'événement du 14 décembre dernier, certains astronomes n'hésitent pas à parler de l'explosion la plus fantastique depuis le big bang. Le satellite italien *Beppo-Sax* avait détecté un phénomène d'une rare violence, sous la forme d'un sursaut gamma en provenance de la constellation de la Grande Ourse.

Grâce à la rapide mise en œuvre d'instruments aussi puissants que le plus grand télescope du monde, le Keck 2, à Hawaii, ou encore le télescope spatial *Hubble*, cette émission de rayonnements gamma, aussi intense que brève (quelques secondes), a pu être localisée au sein d'une galaxie très lointaine. Sans éclaircir définitivement le mystère de son origine ni celle des centaines d'autres sursauts détectés, ces mesures resserrent l'étau autour d'une énigme vieille de plus de trente ans.

Accessoirement, elles permettent de mieux se rendre compte de l'ampleur du phénomène. En effet, s'il s'était produit dans la Voie lactée, à seulement 100 années-lumière du système solaire, la Terre en aurait ressenti les conséquences. L'atmosphère de la planète, qui arrête habituellement les rayons gamma, aurait dû faire face, pendant quelques interminables secondes, à un flot énergétique cent mille fois ■ ■ ■

C. BROUTIN/CIEL & ESPACE

■ ■ ■ plus fort que celui qu'elle reçoit du Soleil. La couche d'ozone située en altitude, qui protège le sol des rayons ultraviolets, aurait vraisemblablement été détruite. Si nul ne peut calculer les autres effets sur l'atmosphère d'un tel événement, il est en revanche certain qu'il aurait été visible de tous, puisqu'un astre presque aussi brillant que le Soleil aurait fait une éphémère apparition dans le ciel.

LA COALITION DES TÉLESCOPES

Par chance, le sursaut gamma du 14 décembre 1997, baptisé GRB 971214 (pour *Gamma Ray Burst*, suivi de la date), est survenu très loin dans une autre galaxie. Cependant, on n'aurait pu estimer sa distance et sa position exacte sans un minimum de chance. En effet, les détecteurs classiques de rayons gamma sont omnidirectionnels, ce qui signifie qu'ils perçoivent les émissions en provenance de n'importe quelle zone du ciel, mais sont incapables de préciser laquelle. Jusqu'au lancement du satellite *Beppo-Sax*, en 1996, les astrophysiciens ne savaient localiser les sursauts que dans des "boîtes d'erreur" de 5° de côté, soit dix fois le diamètre apparent de la pleine Lune.

Retrouver un astre dans une si vaste région équivalait à chercher une aiguille dans une botte de foin : les milliards d'étoiles, de nébuleuses et de galaxies rendaient toute identification impossible. Malgré tout, près de deux mille sursauts (environ un par jour) ont été enregistrés par le satellite américain *GRO-Compton*, et il apparaît maintenant sans ambiguïté qu'ils se répartissent de façon uniforme sur la voûte céleste. Depuis quelques années, cette certitude conduisait les astronomes à privilégier une origine extragalactique des sursauts gamma.

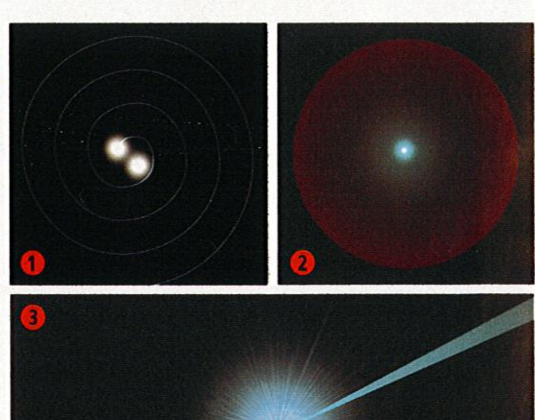
Grâce à *Beppo-Sax*, cette supposition se confirme. Outre un détecteur classique, le satellite possède un télescope à grand champ qui permet d'observer 5 % de la voûte céleste dans la longueur d'onde des rayons gamma (de 100 KeV à 1 MeV), avec une résolution spatiale de moins de 5 minutes d'arc. Le 14 décembre dernier, GRB 971214 a eu le bon goût de se présenter juste dans le champ visé par le télescope à grand champ. Lors de l'une des trois communications quotidiennes de *Beppo-Sax* avec la Terre, les techniciens ont donc recueilli la position du sursaut à quelques minutes d'arc près, et la course contre la montre s'est aussitôt engagée.

Avant que le flash disparaisse entièrement, les astronomes ont pointé dans sa direction un télescope américain de 3,5 m de diamètre situé au Nouveau-Mexique, afin d'essayer de l'observer dans le visible. La manœuvre n'étant pas instantanée, ils n'ont reçu l'image que le lendemain. Mais, pour la troisième fois, la contrepartie visible d'un sursaut gamma se révélait.

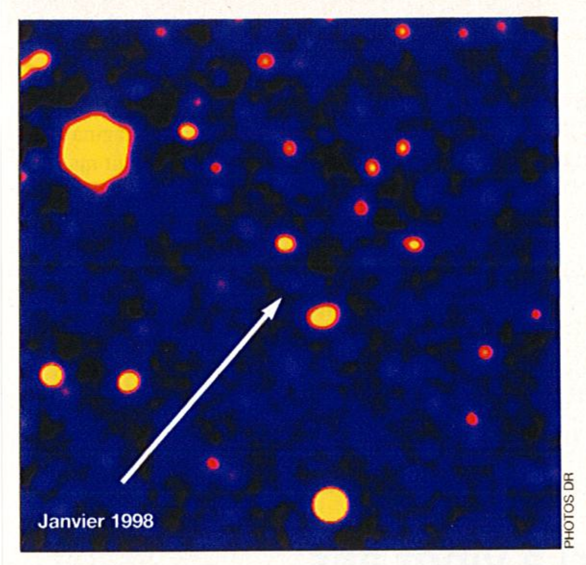
Coincée entre deux galaxies lointaines, la source de GRB 971214 brillait faiblement d'une magnitude 21,7. Le 16 décembre, le Keck 2 visait à son tour la région. Grâce à la lumière collectée par son miroir de 10 m de diamètre, il permettait de

16 décembre 1997

Deux hypothèses pour une hypernova



Soit elle est le résultat de la coalescence de deux étoiles à neutrons dont les orbites finissent par se toucher ❶, soit elle est produite par l'effondrement brutal d'une étoile massive en trou noir ❷. Dans les deux cas, pour dégager une énergie aussi puissante que celle observée, les astrophysiciens doivent imaginer un mécanisme de focalisation de l'énergie ❸.



PHOTOS DR

Pendant et après l'éclair

Le Keck 2, le plus puissant télescope du monde, a observé le sursaut gamma GRB 971214 deux jours après sa détection par le satellite *Beppo-Sax*. Ce flash apparaît nettement, dans le visible, entre deux autres sources brillantes, qui sont des galaxies lointaines. Au mois de janvier, le même instrument ne décelait plus à sa place qu'un faible halo lumineux correspondant à la galaxie dans laquelle il s'est produit. Cette dernière sera observée avec une meilleure résolution par *Hubble* un mois plus tard (photo double page précédente).

créer un spectre de l'astre, dont le dépouillement allait donner une information capitale : l'astre se situe à un redshift (décalage vers le rouge) de z = 3,42, soit à environ 12,5 milliards d'années-lumière si l'on considère que l'Univers est âgé de 15 milliards d'années.

« Ce sursaut est le plus lointain jamais observé, déclare Jacques Paul, astrophysicien spécialiste des sursauts gamma au Commissariat à l'énergie atomique de Saclay. Cela signifie qu'il a été émis à une époque où l'Univers avait environ un septième de son âge actuel. Nous savons donc maintenant que certains sursauts se produisent à des distances cosmologiques. »

UN FLASH CENT FOIS PLUS BRILLANT QUE SA GALAXIE

En janvier dernier, l'éclat du sursaut dans le visible était passé de la magnitude 21,7 à la magnitude 25,6, et il n'a plus varié depuis. En fait, désormais, les astronomes observent non plus le sursaut lui-même – qui doit être encore moins lumineux – mais la galaxie lointaine qui l'a abrité. En février, *Hubble* a visé la zone où le Keck 2 ne distinguait plus qu'une faible lueur étalée. Affranchi des effets brouillants de l'atmosphère terrestre, le télescope spatial a pu l'observer avec une meilleure résolution que les instruments au sol. Les spécialistes ont confirmé que la petite tache lumineuse visible sur le cliché est bien une galaxie, probablement à spirale.

Cet ensemble de données apporte une révolution dans la connaissance des sursauts gamma. Car les astrophysiciens savent enfin à quelle distance l'un de ces événements s'est produit et quel objet céleste occupe sa position. Malgré cette avancée considérable, la solution de l'énigme fait toujours défaut : quel phénomène peut bien donner naissance à des émissions d'énergie si considérables? GRB 971214 est subitement devenu quarante fois plus brillant dans le visible que l'ensemble de la galaxie à laquelle il appartient. Dans le rayonnement gamma, il l'a été cent fois plus… Quelle que soit l'origine du phénomène, le terme d'hypernova – qu'emploient depuis peu les astrophysiciens pour désigner les sursauts gamma – est donc particulièrement approprié.

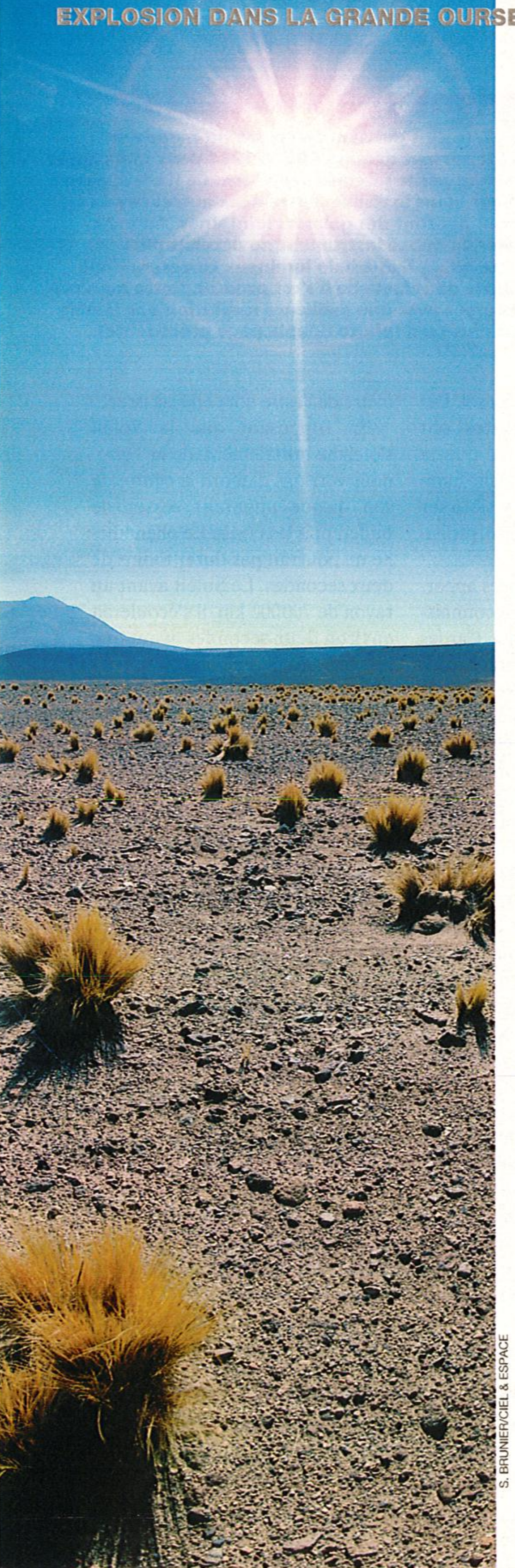
Jusqu'à cette année, plus de cent trente hypothèses ont tenté d'expliquer le mystère des sursauts gamma. En repoussant ces événements catastrophiques aux confins de l'Univers, les astronomes ont considérablement réduit le champ de leur imagination. Il n'en demeure pas moins que ces flashs surpuissants sont obligatoirement émis par des objets de petite taille. En effet, la durée minimale de l'émission est toujours proportionnelle au diamètre de l'astre dont elle est issue.

En supposant que le Soleil s'éteigne brutalement, de la Terre, nous verrions d'abord le centre de son disque apparent cesser de briller, puis les bords. Le phénomène ne pourrait pas durer moins de deux secondes. Le Soleil ayant un rayon de 700000 km, il s'écoulerait environ deux secondes avant que les zones les plus éloignées de l'observateur cessent de briller, bien qu'elles se fussent "éteintes" en même temps que les autres.

Les sursauts gamma, eux, ne durent que quelques secondes ou quelques fractions de seconde. On peut donc en déduire qu'ils sont émis par des astres de la taille des étoiles. Dans la plupart des cas, les calculs indiquent que le diamètre des objets incriminés ne saurait dépasser quelques centaines de kilomètres. Quels objets si petits seraient capables de provoquer des émissions si énergétiques?

Un sursaut émis lorsque l'Univers avait un septième de son âge actuel

« Nous avons tout de suite pensé à des étoiles à neutrons ou à des trous noirs », répond Jacques Paul. Résidus d'étoiles massives, ces deux types d'astres sont à la fois les plus denses et les plus compacts de l'Univers, par conséquent les seuls ■ ■ ■



S. BRUNIER/CIEL & ESPACE

■ ■ ■ aptes à provoquer des explosions aussi dévastatrices que les sursauts gamma.

L'un des scénarios consiste dans la collision de deux étoiles à neutrons, ou de deux trous noirs, ou encore d'un trou noir et d'une étoile à neutrons. Ce qui suppose l'existence d'un système binaire où l'un des astres tourne autour de l'autre. « Ce genre de couple est possible, précise Jacques Paul. Dans notre galaxie, nous connaissons au moins un pulsar qui se trouve en orbite autour d'une étoile à neutrons. Comme la théorie le prévoit, ce système perd lentement de l'énergie, ce qui conduit inéluctablement les orbites à se resserrer, au point qu'un jour les deux astres fusionneront (voir schéma double page précédente). Mais un problème demeure : même en imaginant deux astres particulièrement massifs, aucun modèle ne parvient tout à fait à produire autant d'énergie que GRB 971214. L'événement fabriquerait surtout des neutrinos. »

Sa distance étant connue, les astronomes ont aisément réussi à calculer l'énergie libérée par le sursaut du 14 décembre 1997 : 3.10^{53} ergs. Or, dans l'hypothèse d'une coalescence d'étoiles à neutrons ou de trous noirs, celle-ci ne dépasserait pas 3.10^{51} ergs.

D'ici à vingt ans, une trentaine de sursauts auront été analysés

« Mais, poursuit Jacques Paul, si l'on introduit un phénomène de focalisation de l'énergie dans une direction – un peu à la manière du faisceau d'un phare qui éclaire dans une seule direction –, nous obtenons des valeurs conformes aux observations. »

En effet, si la plus grande partie de l'énergie du sursaut reste canalisée dans un faisceau qui ne se diffuse qu'en direction d'un millième de la voûte céleste, les 3.10^{53} ergs peuvent être atteints. Ce qui implique au passage que le nombre de phénomènes accomplis est bien plus élevé que le nombre détecté, puisque seuls quelques faisceaux pointent vers la Terre.

Une autre hypothèse attribue l'origine des sursauts gamma au brutal effondrement en trou noir d'une étoile massive (autour de cent fois la masse du Soleil), ce qui engendrerait une énorme production d'énergie par échauffement de la matière constituant l'étoile. Mais, comme dans le scénario précédent, il faudrait un mécanisme de focalisation de l'énergie émise pour atteindre les valeurs observées.

Nul ne sachant si un jet énergétique canalisé lors d'un tel phénomène peut se former, il est tentant d'imaginer la collision d'astres en-

Un second Soleil

Si l'hypernova GRB 971214 avait explosé à 100 années-lumière de la Terre, son éclat aurait été pratiquement égal à celui du Soleil – sa magnitude aurait été de –20, contre –27 pour l'astre du jour.

core plus colossaux. Ces astres existent : ce sont les trous noirs hypermassifs qui occupent le centre de certaines galaxies. Révélés en radio sous la forme de noyaux actifs dans les galaxies proches et sous la forme de quasars dans les galaxies lointaines, ils ont la masse de centaines de millions ou de milliards de soleils. Quand deux galaxies actives entrent en collision, les trous noirs géants qui leur tiennent lieu de noyau peuvent alors fusionner dans une débauche d'énergie inouïe.

Mais, outre le fait que la durée du sursaut gamma engendré serait trop longue pour correspondre à l'observation – puisqu'un trou noir hypermassif a le diamètre de notre système solaire, soit quelques heures-lumière –, le nombre des événements détectés serait trop petit. Car, même si l'on admet que les fusions de galaxies étaient bien plus fréquentes il y a 12 milliards d'années qu'aujourd'hui, ce type de phénomène ne survient guère plus d'une fois dans la vie d'une galaxie.

Or, la statistique indique que, pour enregistrer autant de sursauts que le font les satellites, il faut qu'ils se produisent en moyenne une fois par million d'année dans chaque galaxie. L'observation de GRB 971214 par Hubble semble confirmer cette objection, puisque le sursaut a eu lieu en bordure de la galaxie qui l'abrite, et non en son centre.

Certes, le mécanisme qui conduit aux hypernovæ échappe encore à la compréhension des astrophysiciens, mais on sait avec certitude qu'il met en jeu des objets de taille stellaire dans d'autres galaxies. GRB 971214 devient ainsi l'étoile la plus lointaine jamais vue "individuellement", ce qui ouvre de nouvelles perspectives aux astronomes.

DES INDICES SUR LA GENÈSE DES PREMIÈRES ÉTOILES

« Dans l'hypothèse où les hypernovæ résultent d'effondrements brutaux d'étoiles massives en trous noirs, elles nous indiquent à quelle époque se sont formées ces étoiles, dit Jacques Paul. Car une étoile très massive finit sa vie en "à peine" quelques millions d'années. A l'échelle de l'Univers, c'est si court que la mort de l'étoile est quasiment simultanée à sa naissance. Par conséquent, les sursauts pourraient fournir un outil d'évaluation du taux de formation des étoiles très loin dans le temps. » Avec un peu de chance, quelques-uns de ces événements témoigneront peut-être de la formation des premières étoiles dans l'Univers, juste après le big bang...

Avant d'en arriver là, il faudra élucider totalement le mystère des sursauts gamma. Si l'hypothèse de la coalescence d'astres massifs l'emporte, ces extrapolations perdront tout leur sens, puisqu'il faut quelques milliards d'années pour que fusionne un système binaire d'étoiles à neutrons.

En outre, il est fort possible que tous les sursauts n'aient pas la même origine. L'un des plus récents (enregistré le 25 avril dernier), localisé dans un champ très restreint de 50 secondes d'arc, correspondait à une supernova ayant explosé dans une galaxie située à 125 millions d'années-lumière, exactement dans la "boîte d'erreur". Cela semble indiquer que certaines supernovæ peuvent être précédées de bouffées intenses de rayons gamma.

Désormais, seules de nouvelles observations, aussi complètes que celles de GRB 971214, permettront de progresser. D'ici à dix ou vingt ans, les astrophysiciens disposeront probablement d'une trentaine de phénomènes de ce type. Peut-être parviendront-ils à en tirer des conclusions plus précises. L'enquête sur les sursauts gamma continue. ■

Une hypernova très lointaine...

Le 28 février 1997, pour la première fois, le télescope à grand champ du satellite *Beppo-Sax* localisait un sursaut gamma avec une précision de 2 minutes d'arc, ce qui permit de l'observer plus tard dans le visible et de connaître son éloignement. L'origine extragalactique lointaine des sursauts gamma semblait se confirmer.

... une autre proche de notre galaxie

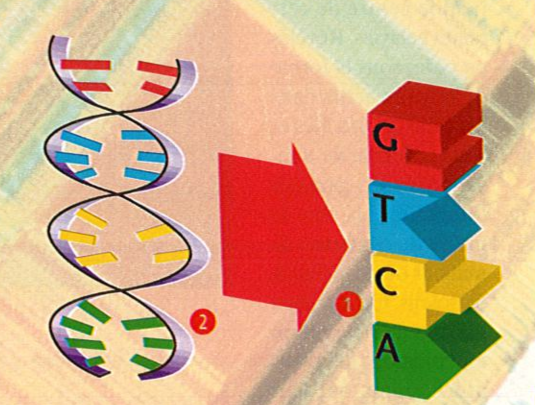
Pourtant, le sursaut GRB 980425, qui avait été cerné dans un champ de 50 secondes d'arc seulement, réserva des surprises. Une observation dans le visible au télescope européen NTT de 3,5 m a révélé à cet endroit exact une supernova ayant éclaté dans une galaxie proche de la Voie lactée. Une invitation à la prudence sur l'origine des sursauts gamma.

PHOTOS DR

TECHNOLOGIE

La révolution des

■ Après avoir révolutionné le traitement de l'information, l'électronique s'attaque au diagnostic médical. Biologistes et électroniciens préparent des puces à ADN capables de détecter les gènes qui signent la présence de certaines maladies.



PAR DENIS DELBECQ

D'ici cinq à dix ans, les puces à ADN pourraient transformer le diagnostic et ouvrir la voie au suivi des mutations génétiques, à la détection de dizaines de maladies en quelques minutes, à l'observation des effets génétiques induits par certains médicaments et même à la conception de capteurs de virus pour le contrôle de l'environnement.

Les géants de l'industrie pharmaceutique et de l'instrumentation médicale se bousculent pour entrer dans le tour de table des dizaines d'entreprises de technologies de ce secteur naissant. Ils y côtoient désormais des magnats de l'informatique comme Bill Gates et Paul Allen, fondateurs de l'empire Microsoft. Qui sera le Microsoft ou l'Intel du diagnostic médical ?

Les techniques de détection génétique reposent sur la remarquable aptitude qu'ont les brins extraits de la double hélice d'ADN à reformer spontanément cette double hélice dès qu'ils se retrouvent face au brin complémentaire. Les quatre molécules de base de l'ADN ont en effet la particularité de s'unir deux à deux, l'adénine avec la thymine, la cytosine avec la guanine.

En présence de brins d'ADN synthétique représentatifs d'une maladie, les brins extraits de l'ADN du patient vont donc "hybrider" si le malade est porteur de l'affection recherchée ; mais, s'il n'est pas atteint, rien ne se produira. Revers de la médaille, il faut effectuer autant d'opérations que le gène présente de formes possibles, et plusieurs gènes sont parfois nécessaires pour signaler la présence d'une seule pathologie.

D'où l'idée de déposer des dizaines de sondes distinctes sur un seul composant pour réduire le nombre de manipulations. Cette voie a donné naissance à une fructueuse collaboration entre biologistes et électroniciens.

Leader incontesté du genre, l'américain Affymetrix reprend à son compte la technique de photolithographie utilisée pour graver les puces de silicium. Une plaque de verre recouverte d'une résine photosensible est éclairée à travers un masque de quartz sur lequel a été dessiné le schéma de la puce. En sensibilisant à la lumière les divers sites de leur puce, les ingénieurs



M. W. DAVIDSON

Détecteur génétique

Une bio-puce est constituée de centaines de sondes ADN sur un support en verre ou en silicium. Une sonde ADN ❶ est la reproduction synthétique de la séquence d'ADN ❷ d'une maladie. Elle comporte les quatre molécules de base de l'ADN (guanine, thymine, cytosine et adénine). Si ses bases sont complémentaires de celles de l'échantillon à analyser ❸, la sonde et le brin s'unissent : c'est l'hybridation ❹. Cette technique permet de détecter les particularités génétiques liées à certaines maladies.

bio-puces

peuvent y accrocher tour à tour l'une ou l'autre des quatre molécules de base qui forment l'ADN, et renouveler l'opération autant de fois qu'il y a de molécules à empiler pour reconstituer les brins d'ADN synthétique.

Affymetrix commercialise aujourd'hui des puces de 1 cm² dotées de plusieurs milliers de sondes, et dispose déjà dans ses laboratoires de composants à plusieurs centaines de milliers de sondes.

Alors que d'autres préfèrent déposer l'ADN synthétique à l'aide de micropipettes automatisées, les firmes américaines Rosetta Inpharmatics et Microfab détournent des cartouches d'impression à jet d'encre pour implanter les brins d'ADN sur un support de plastique. Et les premiers résultats sont prometteurs.

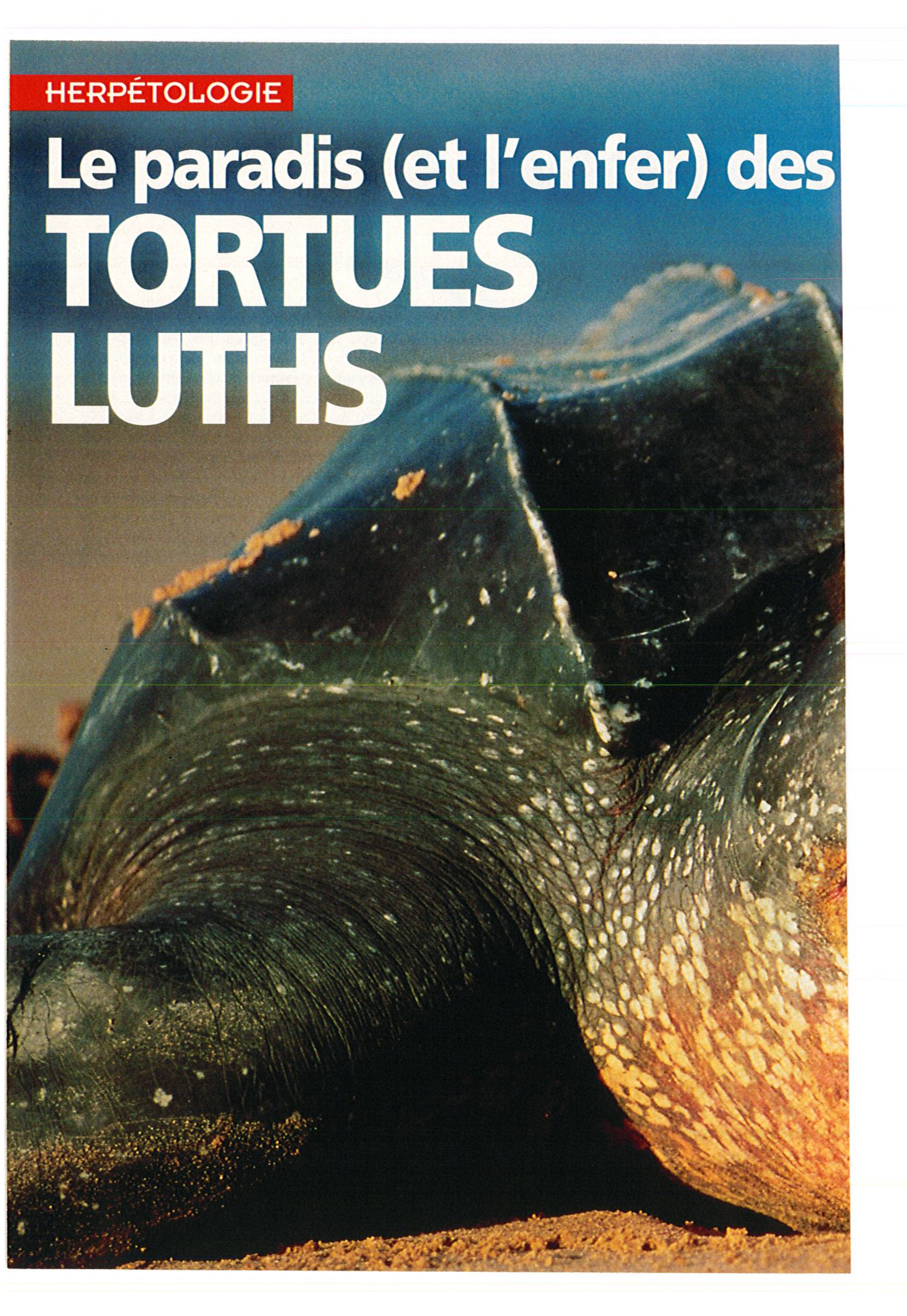
De nombreux chercheurs tentent d'exploiter les propriétés du silicium. C'est la démarche adoptée par le Commissariat à l'énergie atomique (CEA), le seul industriel français à mener des recherches sur les bio-puces, dans son Laboratoire d'électronique, de technologie et d'instrumentation (LETI) et dans sa filiale biomédicale CIS-Bio. Le procédé du CEA consiste à contrôler électriquement la localisation du dépôt de brins sur de minuscules électrodes en or, elles-mêmes fixées sur un substrat de silicium de 3 mm². La puce du CEA comprend aujourd'hui 128 sondes, faible densité compensée par un rendement de 100 % qui fait encore défaut aux techniques à haute densité.

La firme américaine Nanogen préfère employer les propriétés électriques du silicium pour accélérer le processus d'hybridation, donc réduire la durée d'analyse. Soutenue par le CNRS, l'équipe d'Eliane Souteyrand, à l'Ecole centrale de Lyon, travaille à la détection électrique des sites où l'hybridation s'est produite. Alors que les puces actuelles obligent à marquer les échantillons d'ADN de molécules fluorescentes, l'équipe de Lyon a montré que l'hybridation modifie les propriétés électriques des sondes et permet d'envisager une lecture directe sans recourir aux techniques de fluorescence par laser pratiquées aujourd'hui.

Une seconde génération de puces à ADN pourrait donc fournir ses résultats en quelques secondes avec un matériel très réduit, au lieu d'une quinzaine de minutes actuellement. ■

HERPÉTOLOGIE

Le paradis (et l'enfer) des TORTUES LUTHS





Chaque année, une petite plage de Guyane accueille la plus grande concentration de tortues luths du monde. Plusieurs milliers de ces tortues géantes viennent s'y reproduire. Pourtant, d'innombrables dangers les guettent...

PAR MARIE-SOPHIE GERMAIN,
PHOTOS OLIVIER GRUNEWALD

La plage de Yalimapo-Awala, dans le Nord-Ouest de la Guyane française, n'est pas un site ordinaire. Située près du village amérindien de Yalimapo, à l'embouchure des fleuves Maroni et Mana, cette plage est le principal site de ponte des tortues luths, les ■ ■ ■

La géante des mers

La tortue luth (*Dermochelys coriacea*) est la plus grosse des tortues marines : elle mesure près de 2 m de longueur, pèse environ 450 kg et peut atteindre 3 m d'envergure. En haut, à droite, le baguage d'une tortue au moment de la ponte.







Un nid en une demi-heure

A marée haute, la tortue luth se hisse sur la plage ❶ où elle choisit son aire de ponte, loin de la végétation. Elle balaie la surface du sable avec ses pattes ❷, creusant peu à peu un nid d'environ 80 cm de profondeur. L'opération dure une demi-heure. Sous le regard des touristes et des Indiens guyanais ❸, la ponte peut alors commencer.

■ ■ ■ plus grandes des tortues marines.

Chaque année, entre mars et août, plusieurs milliers d'entre elles viennent s'y réunir les nuits de pleine lune, à marée haute. La plage est pourtant très étroite : longue de 8 km, elle n'a que 150 m de largeur à marée haute. Et les tortues s'y rendent en si grand nombre que les dernières arrivées déterrent les œufs de celles qui les ont précédées…

Ces rassemblements exceptionnels sont une aubaine pour les

La femelle abandonne sa progéniture à un sort incertain

braconniers. Ils chassent les tortues non pour leur chair ou pour leur carapace dénuée d'écailles, peu appréciées, mais pour les pattes, qui servent d'appâts de pêche. Dans ces conditions, quand on est tortue, se reproduire est une gageure. Si l'animal échappe aux braconniers, il peut se mettre à pondre. L'aventure commence…

Sous le regard des touristes et des Indiens guyanais, une femelle se déplace lourdement sur le sable. Elle choisit son aire de ponte, souvent loin de la végétation qui borde la plage. Puis elle balaie le sol de ses pattes antérieures et postérieures : c'est le "nettoyage". La tortue se recouvre du sable qu'elle fait jaillir du sol. Pendant une demi-heure, elle va creuser un nid de 80 cm de profondeur. Après le nettoyage, la ponte peut avoir lieu.

CENT ŒUFS EN RAFALES

La future maman dispose son orifice cloacal au bord du nid. Elle expulse un premier œuf. Il est blanc et rond, et mesure 8 cm de diamètre. Il tombe au fond du nid sans se casser, car sa coquille, constituée de calcite, est souple. Puis les

choses s'accélèrent. Pendant une trentaine de minutes, la tortue pond une centaine d'œufs, par rafales de trois ou quatre. Elle y met toutes ses forces.

La ponte terminée, elle rebouche le nid en prenant soin de bien tasser chaque couche. Elle balaie à nouveau le sable pour rendre le nid moins visible. Puis, guidée par la brillance de l'eau, elle regagne la mer. Car, contrairement au crocodile, qui assiste les nouveau-nés pendant l'éclosion, la tortue ne verra pas naître ses petits. Elle les abandonne à un sort pour le moins incertain : une longue série d'embûches attend les petites tortues luths.



La plage de tous les dangers

40 % des œufs sont détruits par les courtilières ❶, de petits insectes fouisseurs. Les jeunes tortues qui parviennent à la mer sont la proie des silures ❷, et beaucoup de tortues adultes sont victimes des braconniers qui convoitent leurs pattes ❸.

Pendant les deux mois que dure l'incubation, les embryons grandissent. « Seuls de 6 à 10 % des nids donnent au moins un juvénile vivant », précise Marc Girondot, directeur de la réserve naturelle de la Mana, sur la plage de Yalimapo.

Les petites tortues ne sont pas encore nées que les prédateurs rôdent déjà... De féroces carnassiers convoitent les œufs que les braconniers n'ont pas déterrés. Ce sont des courtilières, de petits insectes fouisseurs qui creusent des galeries dans le sable et perforent les coquilles pour en dévorer le contenu. Selon les scientifiques, les courtilières détruisent 40 % de la ponte.

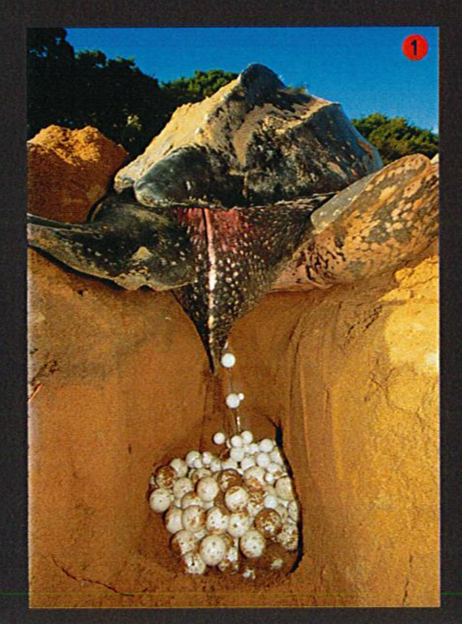
Pour les embryons qui survivent au massacre, l'histoire continue. Un beau jour, une petite tortue s'agite dans sa coquille : c'est le signal. Tous les œufs vont éclore en même temps. A l'aide d'un durillon situé sur le museau, les bébés perforent leur coquille. Chaque mouvement qu'ils font pour s'extraire de l'œuf brise un peu plus la coquille des voisins. Au bout de plusieurs heures d'effort, les petites ■ ■ ■

Le Centre de Yalimapo-Awala

■ Depuis quinze ans, le Centre de recherche sur les tortues marines de Yalimapo-Awala accueille des spécialistes. Il se situe dans la nouvelle réserve naturelle de la Mana, en Guyane, dirigée par Marc Girondot.

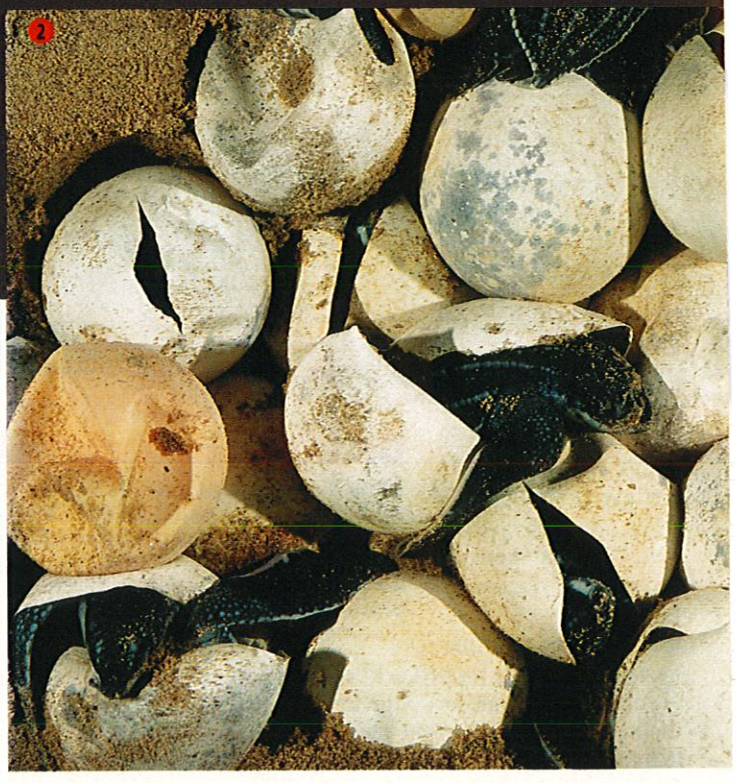
Piloté par Jacques Fretey, du World Wildlife Fund (Fonds mondial pour la nature), le Centre est ouvert de mars à août, saison de ponte des tortues luths. En 1984, la création d'une écloserie a permis d'étudier les conditions d'incubation des œufs. Mais l'incubation artificielle a été arrêtée neuf ans plus tard, sous la pression des écologistes.

Le Centre poursuit ses opérations de comptage, de marquage et d'identification. Pour l'instant, il ne peut poser un diagnostic précis sur l'évolution de la population des tortues luths.



Deux mois pour voir le jour

La femelle pond une centaine d'œufs de 8 cm de diamètre en une demi-heure ❶. Ils ne se brisent pas en tombant de 80 cm au fond du nid, car leur coquille de calcite est souple. Deux mois plus tard, les œufs éclosent tous en même temps ❷ dans le nid soigneusement rebouché. Les petites tortues perforent leur coquille à l'aide d'un durillon situé sur le museau. La remontée à la surface leur prend de quatre à cinq jours ❸. Elles attendent alors le crépuscule avant de gagner la mer toutes ensemble ❹.



■ ■ ■ tortues parviennent à se libérer. Elles doivent maintenant sortir du nid : il leur faut monter les 80 cm qui les séparent de la surface.

Se déplaçant au même rythme,

60 000 pontes en 1992, à peine 8 000 l'année dernière...

elles se réunissent pour former une grappe. Elles remontent alors "en colonne" pour avoir des points d'appui. Cette escalade leur prendra quatre ou cinq jours. Enfin, un bébé pointe le bout du museau à l'air libre. Pour la première fois, l'air marin entre dans ses poumons et il entend le ressac de la mer. Tapies sous le sable, les petites tortues attendent alors la tombée de la nuit pour émerger tout à fait. C'est la baisse nocturne de la température qui leur indique que le moment est venu.

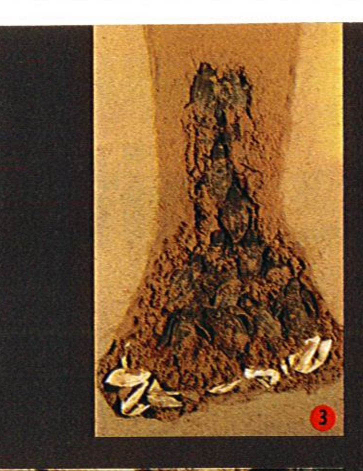
Au crépuscule, l'une d'elles don-

Autre menace : le plastique...

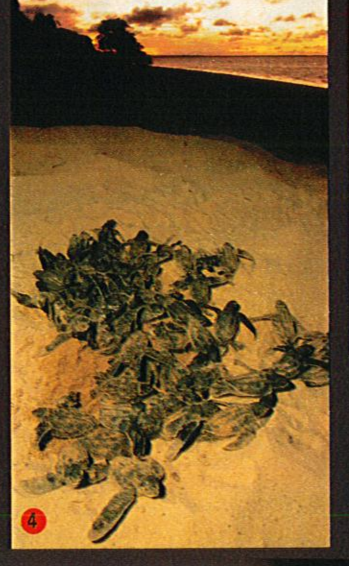
■ Rien ne ressemble plus à une méduse qu'un sac en plastique entre deux eaux... Quand les tortues luths se méprennent, il est trop tard. La régurgitation est impossible, et le plastique forme un bouchon dans l'estomac, provoquant une mort certaine.

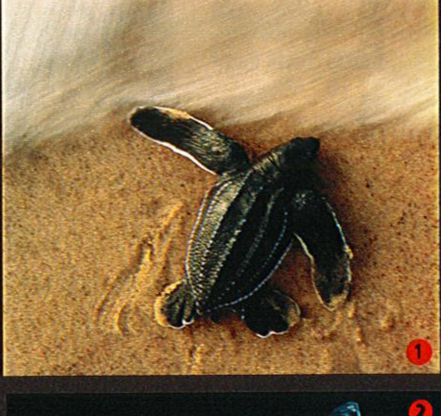
«La mer n'est pas une poubelle!» soutient avec véhémence l'équipe de l'Aquarium de La Rochelle (1), qui renouvelle, avec le Centre d'étude des mammifères marins, l'opération "Les observateurs des pertuis". Les pertuis charentais, passages délimités par les îles de Ré et d'Oléron, sont une zone de prédilection des tortues luths de fin mai à octobre. En 1997, 223 observations ont été rapportées. Parmi les tortues aperçues figuraient au moins les 40 qui se sont échouées, mortes, entre le Finistère et les Landes (plus une dans la Manche). 56 % des animaux autopsiés avaient ingéré du plastique. Les autres se sont pris dans les mailles des chaluts ou ont été décapités par des hélices. *Marie-Laure Moinet*

(1) Tél. : 05 46 34 00 00; radio VHF : canal 72.









Nageuses nées

Les jeunes tortues apprennent à nager en quelques minutes ❶. Elles parviennent très rapidement à coordonner leurs mouvements, décomposés ici à l'aide d'un flash stroboscopique ❷.

ne le départ. Toutes ensemble, elles s'exhument et rampent à toute allure vers la mer. Les chiens errants n'ont qu'à ouvrir la gueule pour les cueillir au passage… Les rescapées subissent les coups de bec des oiseaux. Certaines ne seront que blessées, beaucoup finiront dans les estomacs des vautours, des hérons et des urubus.

Les plus chanceuses pénètrent dans l'eau… où les attendent les silures, communément appelés poissons-chats. Les rares survivantes doivent apprendre à nager en quelques instants : cinq minutes leur suffisent pour coordonner leurs mouvements. Certaines reviendront plus tard sur le lieu même de leur naissance.

Quels motifs poussent les tortues luths à se rassembler sur la plage de Yalimapo ? Les scientifiques n'ont toujours pas trouvé la réponse. Ils supposaient que cette plage était l'une des plus stables de Guyane. La plupart des autres plages apparaissent et disparaissent environ tous les quinze ans, en raison des apports d'alluvions de l'Amazone. Mais les spécialistes savent maintenant que Yalimapo n'a pas toujours existé.

« En 1829, par exemple, on n'en trouve aucune trace, commente Marc Girondot. Des tortues luths pondent sur le littoral guyanais depuis 1940, mais les premières pontes à Yalimapo datent de 1967. En 1988 et en 1992, il y a eu un pic, avec 60 000 pontes annuelles. Depuis, ce nombre est en chute vertigineuse. »

L'année dernière, il a été de 8 000 à peine. L'espèce est aujourd'hui menacée. Mais il est difficile de se prononcer sur l'évolution des effectifs des tortues luths. Si elles sont de moins en moins nombreuses à venir pondre à Yalimapo, il faudra beaucoup de temps pour savoir si c'est parce qu'elles ont changé de site de ponte, ou parce qu'il n'en reste plus que quelques spécimens dans le monde… ■

RECHERCHE

Les pays où se fait la science

C'est toujours aux Etats-Unis qu'on invente le futur. L'Europe maintient tout juste ses positions en matière de recherche, et le Japon régresse. Le reste du monde est presque rayé de la carte de l'innovation.

PAR LOIC CHAUVEAU

L'UNESCO vient de publier son rapport 1998 sur la science dans le monde. Il pourrait se résumer ainsi : suprématie des Etats-Unis, stabilité de l'Europe, recul du Japon, absence des pays en voie de développement. Mesurer l'activité scientifique, comparer les capacités d'innovation de tous les pays, juger de leur vigueur technologique n'est pas une mince affaire. Les trois indicateurs retenus par l'UNESCO, le pourcentage du produit intérieur brut (PIB) consacré à la recherche, le nombre des dépôts de brevets et celui des communications publiées dans les revues scientifiques, ne donnent qu'un aperçu de l'effort réel de chaque nation.

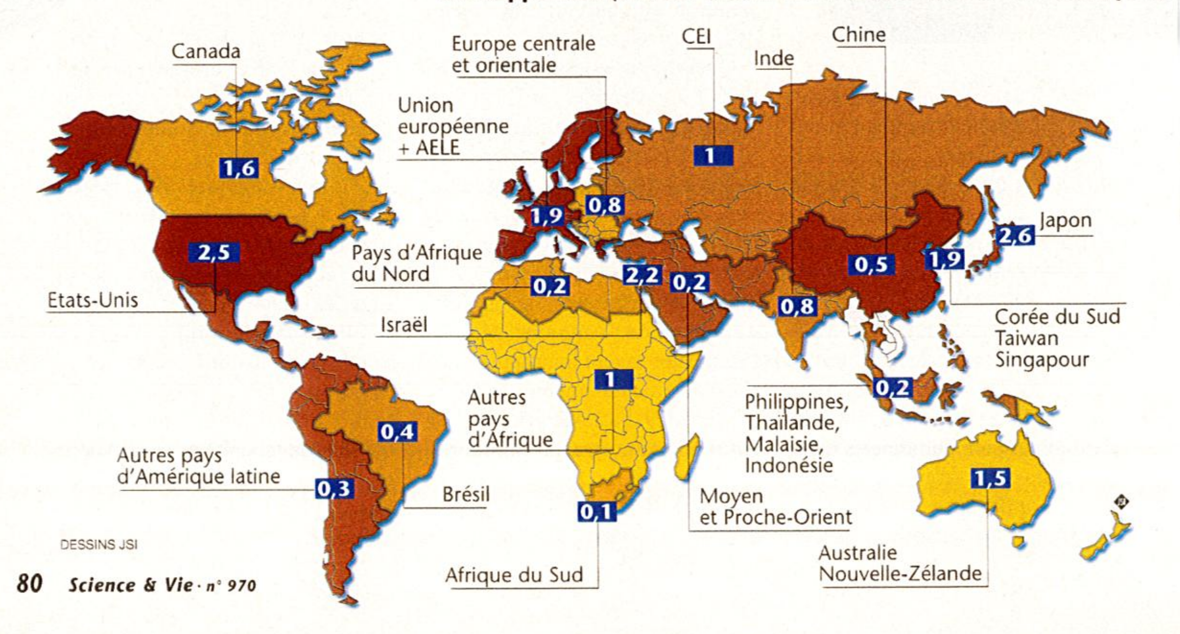
Le rapport a cependant le mérite de mettre en lumière l'évolution de la recherche dans le monde depuis 1993. Hormis dans le domaine de l'audiovisuel et des télécommunications, où Japon, Etats-Unis et Europe font jeu égal, l'Amérique du Nord n'a jamais paru si puissante. D'ailleurs, 38,4 % des publications scientifiques se font aux Etats-Unis, au lieu de 35,8 % en Europe et seulement 10,1 % au Japon.

Mais la vraie nouveauté du rapport, c'est le déclin de l'Orient en général et du Japon en particulier. Pour l'ensemble des technologies clefs, le Japon ne détient plus qu'une part de 13 %, tandis que celle de l'Europe est de 36 % et celle des Etats-Unis, de 43,8 %.

L'Europe maintient ses positions, ce qui n'est pas un motif suffisant de se réjouir. Peu présents en informatique, les Européens déçoivent dans les biotechnologies et dans les pro-

Le monde de la recherche

Les dépenses consacrées par les Etats à la recherche et au développement (en pourcentage du Produit intérieur brut) confirment la faiblesse des budgets de la majorité des pays en voie de développement (source : Observatoire des sciences et des techniques).



DESSINS JSI



P. LANDMANN/ GAMMA

L'Europe de la physique

Le CERN, à Genève, est un des plus beaux succès de la coopération de l'Europe géographique : le LEP, plus puissant accélérateur européen, n'est concurrencé que par le "Tévatron" américain.

duits pharmaceutiques.

La grande force de l'Europe réside dans les secteurs dits "mûrs", où la vitesse d'innovation et d'adaptation au marché est plus lente, tels que les technologies environnementales et les transports. Dans ce dernier secteur, il faut s'attendre, au début du siècle prochain, à une vive offensive des Américains, qui voient dans les technologies automobiles et ferroviaires un très gros marché où pourrait se reconvertir une grande partie de leur industrie militaire.

Le pourcentage des dépenses brutes en recherche et développement (R & D) par rapport au produit intérieur brut de chaque zone montre également la timidité de l'Europe. Les Etats-Unis consacrent à la recherche 2,5 % de leur PIB ; le Japon et les pays émergents du Sud-Est asiatique, 2,3 %. En Europe, ce pourcentage n'est que de 1,8 %. Mais le plus inquiétant, c'est que la moyenne mondiale se situe à 1,4 %.

Cela signifie que le "reste du monde" – principalement les pays en voie de développement et ceux de l'ex-bloc soviétique – est sur le point d'être rayé de la carte du monde de l'innovation. Si ces pays engendrent toujours autant de chercheurs, ceux-ci exercent désormais leurs talents dans les pays développés.

Du rapport de l'UNESCO il ressort clairement que l'Europe de la recherche reste à construire. La crise économique et la rigueur des critères d'intégration à la monnaie unique réduisent les budgets. Les quinze Etats membres de l'Union ■ ■ ■

L'Europe de la recherche reste à construire

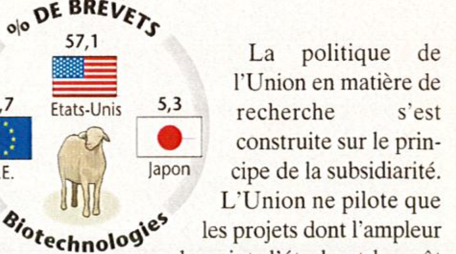
■ ■ ■ européenne dépensent tous les ans 103 milliards d'écus (620 milliards de francs environ). Le 12 février dernier, les quinze ministres de la Recherche ont décidé de garder à un niveau quasi identique les fonds du cinquième programme cadre de recherche et développement (PCRD) de l'Union, un pot commun dans lequel les Etats versent 4 % de leur budget national de recherche pour favoriser la collaboration entre laboratoires et entreprises de l'espace européen. C'est désormais au Parlement européen de se pencher sur la question. On connaîtra à la fin de l'année la grosseur de l'enveloppe.

Les fonds dévolus à la recherche sont-ils mal gérés, comme l'a récemment affirmé le ministre français de la Recherche, Claude Allègre? La Commission européenne a déjà corrigé les faiblesses les plus voyantes : concentration des moyens sur un nombre plus limité d'objectifs, accès plus facile aux subsides pour les petites et moyennes entreprises innovantes et amélioration de la gestion. Claude Allègre semble privilégier les coopérations intergouvernementales au détriment d'une politique commune européenne décidée à Bruxelles : « Si la gestion européenne est mal faite, je préfère contrôler les fonds plutôt que de les mettre dans un pot commun. »

% DE BREVETS
67,4
Etats-Unis
19,5
U.E.
9,1
Japon
Informatique

La coopération européenne revêt en effet deux formes : une collaboration entre Etats, membres ou pas de l'Union, et une politique commune gérée par la Commission. Dans les années 50, c'est le Conseil européen de recherche nucléaire (CERN) qui a donné le coup d'envoi de cette volonté de coopération entre les Etats. S'y sont ajoutées des structures aussi diverses que l'Organisation européenne de biologie moléculaire (EMBO) ou l'Observatoire européen pour l'hémisphère austral (ESO), qui construit le Very Large Telescope (VLT) au Chili.

L'un des plus grands succès de la coopération intergouvernementale est l'Agence spatiale européenne (ESA). Elle a permis aux quatorze Etats qui ont alimenté le pot commun d'être présents sur le marché des lancements de satellites, grâce à la fusée Ariane. Avec l'indépendance vis-à-vis des Etats-Unis dans un secteur stratégique, ces pays européens y ont gagné un énorme poids commercial.



La politique de l'Union en matière de recherche s'est construite sur le principe de la subsidiarité. L'Union ne pilote que les projets dont l'ampleur du sujet d'étude et le coût sont bien supérieurs aux possibilités de chacun des Etats membres. Les programmes cadres, dont les ministres veulent aujourd'hui rogner les crédits, œuvrent à la recherche fondamentale finalisée et au développement technologique en amont du marché, dans des domaines tels que la recherche biomédicale, les sciences et technologies de l'environnement, les technologies de l'information, etc. Pour la seule année 1995, le quatrième programme cadre a permis le montage et le financement de 2255 projets réalisés chacun par un “consortium” d'institutions de recherche privées et publiques des pays membres.

BREVETS : CHASSE GARDÉE...

Mais les Etats n'ont pas véritablement commencé à intégrer leurs forces d'innovation. Chacun garde encore la haute main sur l'enregistrement des innovations et sur le système de protection de la propriété intellectuelle. Enfin, les entreprises européennes rechignent à coopérer avec l'Union dès lors qu'on touche à leurs secteurs stratégiques.

« Le rôle de l'Europe, c'est de coordonner les politiques de recherche, ce qu'elle ne fait pas », a récemment lancé Claude Allègre. Le ministre oublie un peu vite que, depuis le début des années 90, les programmes communautaires de recherche et de développement technologique ont mobilisé en France 1 800 institutions et donné lieu à plus de 7 000 collaborations avec des laboratoires étrangers. Ce qui tend à prouver qu'une politique européenne de recherche est bel et bien en train de s'imposer dans les laboratoires et les entreprises. ■

Coopération maritime

L'Europe entretient à grands frais une très importante flottille de navires océanographiques. En vue d'optimiser les campagnes en mer, des négociations sont en cours pour créer une agence maritime européenne. Ci-dessous, le *Thalassa*, premier navire océanographique franco-espagnol.



M. GUILLOU/IFREMER

La diaspora scientifique du tiers monde

Les pays en voie de développement connaissent un dramatique exode des cerveaux. Certains mettent sur pied des réseaux pour obtenir la collaboration de leurs chercheurs expatriés.

PAR LOÏC CHAUVEAU

P. BESSARD/ REA

L'agronomie privilégiée

Dans les pays africains, seule la recherche en agronomie et en médecine survit, grâce aux maigres subsides qu'elle reçoit des divers gouvernements. Ici, un laboratoire de biologie végétale à l'université d'Ouagadougou, au Burkina Faso.

La situation de la recherche scientifique dans les pays en voie de développement est mouvante. Tandis que la mondialisation dope l'économie des pays du Sud – entraînant un retour des cerveaux dans leur mère patrie –, la libéralisation des échanges sert de prétexte à un vaste hold-up des Etats développés sur les élites scientifiques, industrielles et techniques africaines, latino-américaines et asiatiques.

« Les pays en voie de développement constituent une mosaïque complexe, confrontée à une multitude de défis », écrivent dans le rapport de l'Unesco V. V. Krishna, du National Institute of Science de New Delhi, et Roland Waast et Jacques Gaillard, de l'Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (Orstom). Le tiers monde des années 60 a vécu. Aujourd'hui, il n'y a plus rien de commun entre le Brésil, le Burkina Faso et Taïwan. Tous ces pays doivent faire face à la globalisation de l'économie, donc à l'ouverture de leur marché et de leur système de recherche et de technologie, mais ni les Etats ni les hommes ne peuvent réagir de la même façon. La crise est leur seul point commun.

Les plus optimistes mettent en avant le formidable développement des pays du Sud-Est asiatique. Absents de la scène économique au début des années 70, la Corée du Sud, Singapour, Taïwan ont ouvert une voie de développement dans laquel- ■ ■ ■

■ ■ ■ le se sont engouffrées la Thaïlande, l'Indonésie, la Malaisie et surtout la Chine. Le "miracle asiatique" s'est appuyé sur une industrie capable de fabriquer à bon prix des biens de consommation très inspi-

Les investisseurs privés financent souvent la recherche

rés de la technologie occidentale. Il y fallait des ingénieurs sur mesure, que le système éducatif national a rapidement formés. Voilà pourquoi les pays émergents de l'Asie sont fortement présents dans les sciences de l'ingénieur et pourquoi les entreprises financent 80 % du système de recherche.

Mais le modèle vient de montrer ses limites. Sans recherche fondamentale, pas d'innovation. Bousculés dans les années 80 par des pays asiatiques, les Etats-Unis ont aujourd'hui renversé la vapeur en révolutionnant les technologies. L'essentiel des produits à valeur ajoutée, principalement l'électronique grand public, est fabriqué aux Etats-Unis. Là réside l'une des clefs du séisme boursier qui vient de secouer l'Asie. Pour sortir de la crise, ses entreprises devront retrouver leurs capacités d'innovation – ou s'en forger, au besoin.

Moins spectaculaire, l'essor économique de l'Amérique latine est réel depuis le milieu des années 90. C'est grâce à de nouvelles structures économiques construites sur le modèle de l'Union européenne (comme le Mercosur, qui regroupe le Brésil, l'Uruguay et l'Argentine) et sur les investissements massifs de multinationales majoritairement issues d'Amérique du Nord que cette expansion se réalise. Ces firmes ne se contentent pas de construire des usines. Elles investissent dans les universités, au point qu'on assiste à une vague de privatisation de l'enseignement supérieur, donc de la recherche. Ce mouvement exacerbe le débat entre les libéraux, qui plaident pour un rôle réduit de l'Etat, et les "structuralistes", qui insistent sur l'importance d'une stratégie nationale pour la recherche et la technologie.

« Les communautés scientifiques sont confrontées à une situation où la recherche est de plus en plus traitée comme un facteur d'investissement privé, ce qui s'oppose à la conception actuelle d'une recherche destinée au bien-être de tous », lit-on dans le rapport.

L'Afrique espère sortir enfin de la décadence qu'elle subit depuis une vingtaine d'années. Partie de rien à l'heure de la décolonisation, la population universitaire explose dans les années 70 et 80. Le nombre de chercheurs augmente de 9 % par an, mais leur "poids" reste modeste. En 1985, 0,5 % de la production bibliographique mondiale provenait de l'Afrique subsaharienne (Afrique du Sud exceptée). Dix ans plus tard, cette part est retombée à 0,3 %. Le Nigeria, premier pays innovateur de la région, a vu sa production scientifique divisée par deux entre 1987 et 1991. Seules l'agronomie et la médecine semblent survivre à la déroute politique quasi générale. Dans nombre de pays, les universitaires ne sont plus payés et des organismes ont dû fermer faute d'argent.

LA FORMATION D'UNE ÉLITE

Là encore, les multinationales se mettent donc à occuper le terrain progressivement abandonné par l'Etat. L'espace à grignoter est vaste. Même si 80 % de la recherche africaine dépend en théorie des subsides de l'Etat, les craintes sont les mêmes que pour l'Amérique latine, mais le risque semble plus grand : démission de l'Etat, privatisation larvée des systèmes scientifiques, confiscation des travaux des chercheurs au profit du secteur privé.

Face à cette situation, l'attitude des chercheurs diverge, au point que la très commode notion d'"exode des cerveaux" ne reflète plus vraiment la réalité. Dans les années 70, on constate que les étudiants des pays en voie de développement partent finir leurs études dans les pays développés et ne reviennent pas. Entre 1960 et 1990, ce flux migra-

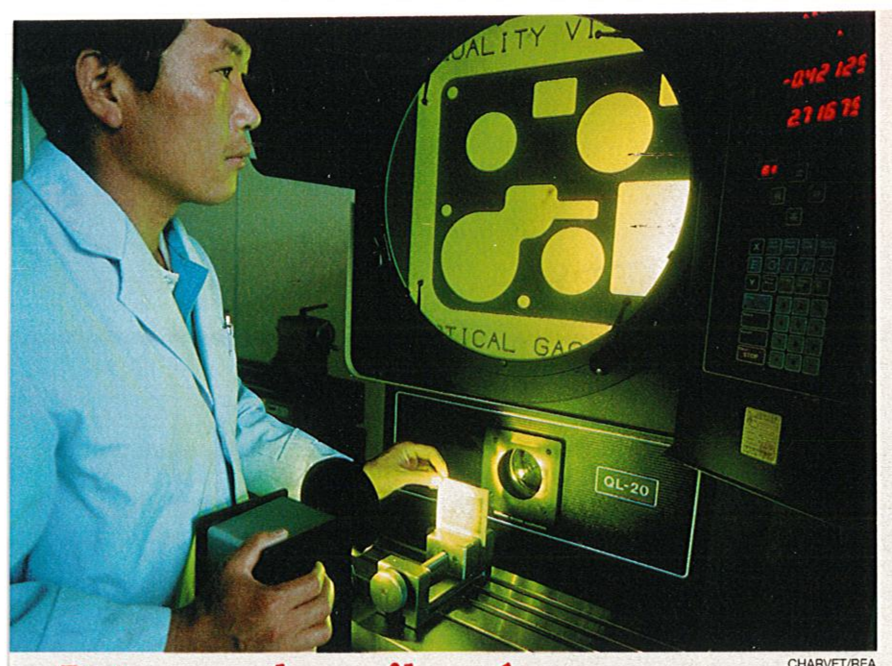
% DE BREVETS — Médicaments-Produits pharmaceutiques
Etats-Unis 59,8 — U.E. 25,8 — Japon 5,4

% DE BREVETS — Environnement
Etats-Unis 24,9 — U.E. 59,1 — Japon 6,8

DR

La science colombienne dopée par Internet

Une association colombienne a décidé de pallier les carences de son pays en matière de recherche scientifique en faisant appel à la coopération de ses chercheurs expatriés, par réseau Internet interposé.



CHARVET/REA

Retour au bercail coréen

Malgré des aides au retour, 10 % seulement des étudiants rentraient en Corée du Sud, une fois leur diplôme obtenu. Subitement, dans les années 80, les deux tiers des titulaires de doctorat américain regagnent le pays. Les diplômés s'aperçoivent qu'avec l'expansion économique ils trouvent chez eux un travail digne de leurs compétences – comme, ici, chez Daewoo – tout en ayant un niveau de vie similaire à celui des Etats-Unis. Les aides au retour sont alors supprimées, mais le gouvernement soutient les associations de scientifiques coréens travaillant à l'étranger et leur demande, en échange, de fournir à la recherche nationale des expertises et des données fondamentales.

toire passe de 245 000 à 1 178 000 personnes par an. Ce "vol" des cerveaux est alors condamné. Pourtant, en 1978, la seule enquête réellement sérieuse jamais effectuée sur le phénomène (6 500 étudiants de onze pays interrogés) brise quelques idées reçues. Les expatriés qui restent dans leur pays d'accueil après la fin de leurs études envisagent toujours de regagner leur pays. Ceux qui sont rentrés chez eux, veulent y rester. Enfin, ce ne sont pas les meilleurs chercheurs qui restent à l'étranger.

Cette étude fait évoluer les mentalités. L'exode des cerveaux est peut-être le moyen pour un pays qui n'en n'a pas la capacité de former une élite, puisque les chercheurs semblent vouloir revenir dans leur patrie. Ce changement d'état d'esprit s'accentue avec l'envol économique des pays du Sud-Est asiatique. Les chercheurs rentrent en masse dès lors que leur pays leur assure un poste et un niveau de recherche convenable, une certaine liberté de penser et une bonne qualité de vie. C'est précisément ce qu'on a observé en Corée du Sud dans la décennie 80.

En revanche, la Colombie, consciente du fait que son développement économique était insuffisant pour inciter au retour – elle connaît un exode des cerveaux depuis les années 60 –, a réagi différemment. Le Conseil national colombien de promotion et de coordination des activités en science et technologie (Colciencias) a instauré un réseau d'information scientifique impliquant un millier de chercheurs expatriés. « Dès 1991, nous avons battu le rappel des chercheurs colombiens pour leur demander de coopérer, dit Guillermo Lozano, président à Paris de l'Association de chercheurs pour l'avancement des sciences et des technologies en Colombie. Nous voulions connecter ces scientifiques à Colciencias *via* Internet pour répondre aux besoins des universitaires en matière d'information, d'expertise, de publication, de colloques et même de séminaires. » Ainsi est né le réseau Caldas, en hommage à Francesco José de Caldas, chercheur colombien du XIXe siècle.

L'enquête menée en 1994 et 1995 par Lozano et une équipe franco-colombienne montre que la capacité de mobilisation des chercheurs colombiens à l'étranger est importante. « La plupart pensent qu'ils retourneront un jour au pays, affirme Lozano. Seuls 20 % d'entre eux disent qu'ils ne rentreront plus. »

QUESTION DE SURVIE

Cette "diaspora scientifique" est l'un des moyens dont disposent les Etats du Sud pour sauvegarder leur place au niveau de la recherche mondiale, malgré la rigueur économique et la mondialisation. Face au pouvoir économique, les Etats seraient ainsi soutenus par des scientifiques qui auraient choisi leur camp, celui de la recherche "bien commun" contre le camp de la recherche "bien marchand". ■

Pour en savoir plus

***Fuite des cerveaux, retour et diasporas* par Jacques et Anne-Marie Gaillard, Futuribles, février 1998.**
***Coopérations scientifiques internationales*, Orstom éd., 1996.**

% DE BREVETS
20,0
Etats-Unis
53,1
U.E.
18,1
Japon
Transports



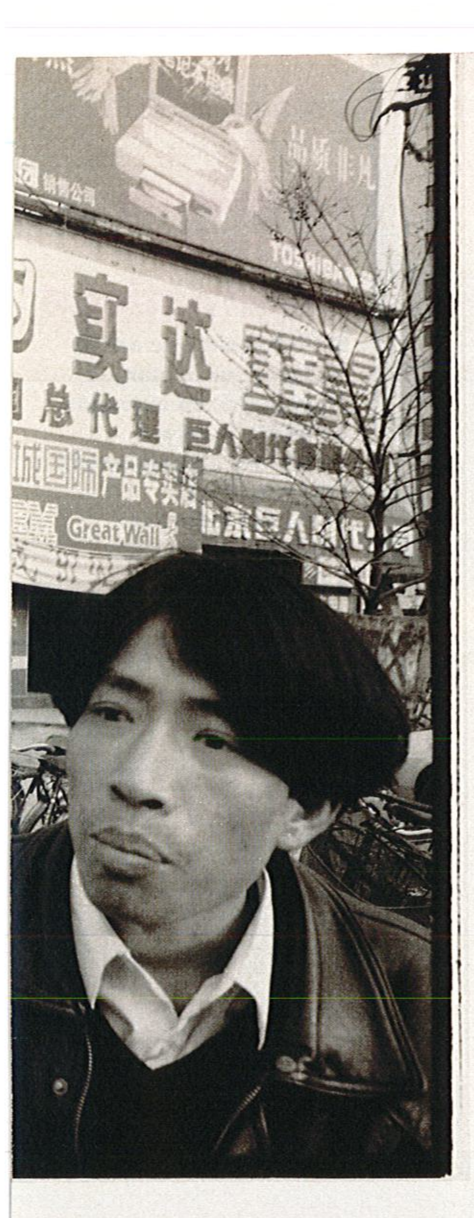
La Chine d'Internet

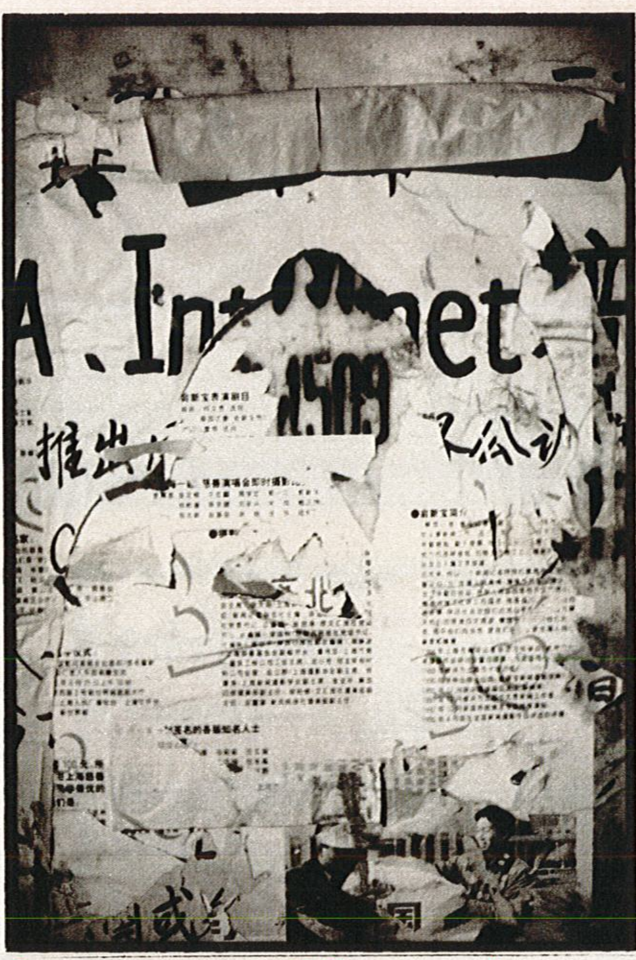
■ Peuplée de 1,2 milliard d'habitants, la Chine est un énorme marché potentiel pour l'industrie informatique. Après des décennies d'isolement, la Grande Muraille se lézarde et laisse entrer, notamment *via* Internet, la culture de l'information. Et si, demain, le réseau des réseaux parlait chinois ?

PAR ROMAN IKONICOFF
PHOTOS MARK LEONG

Pékin, "cyber-capitale"

A Pékin, la pénétration des réseaux se manifeste au grand jour. Les fournisseurs d'accès à Internet – entreprises qui louent des connexions au réseau – et les grandes sociétés occidentales d'informatique (ici, Compaq) ont désormais pignon sur rue.





Les murs ont la parole

Dès le début des années 90, Internet est devenu un bien de consommation autorisé (sous conditions). Aujourd'hui, 620 000 Chinois "surfent" sur la Toile.

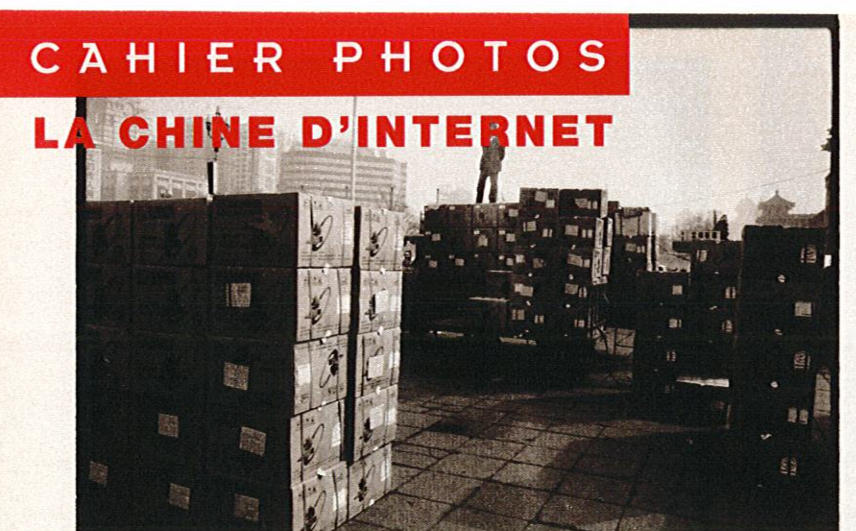


MATRIX/COSMOS

Ombres chinoises

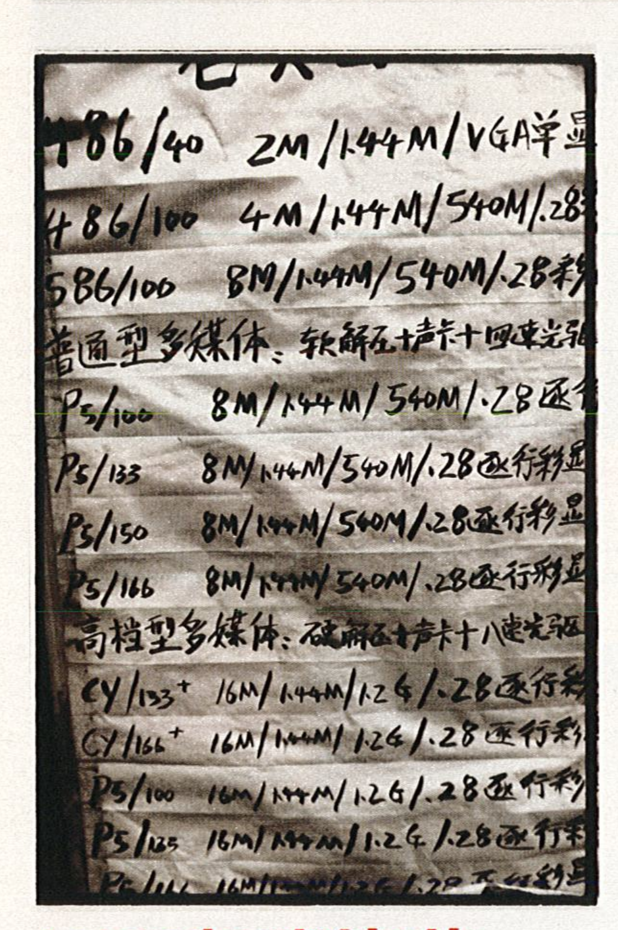
Si Internet est un fabuleux moyen de s'ouvrir aux "plaisirs" du capitalisme (ici, un internaute visitant le site du journal *Playboy*), son accès est très surveillé par les autorités chinoises. Le risque de tomber dans l'illégalité guette l'internaute insouciant.

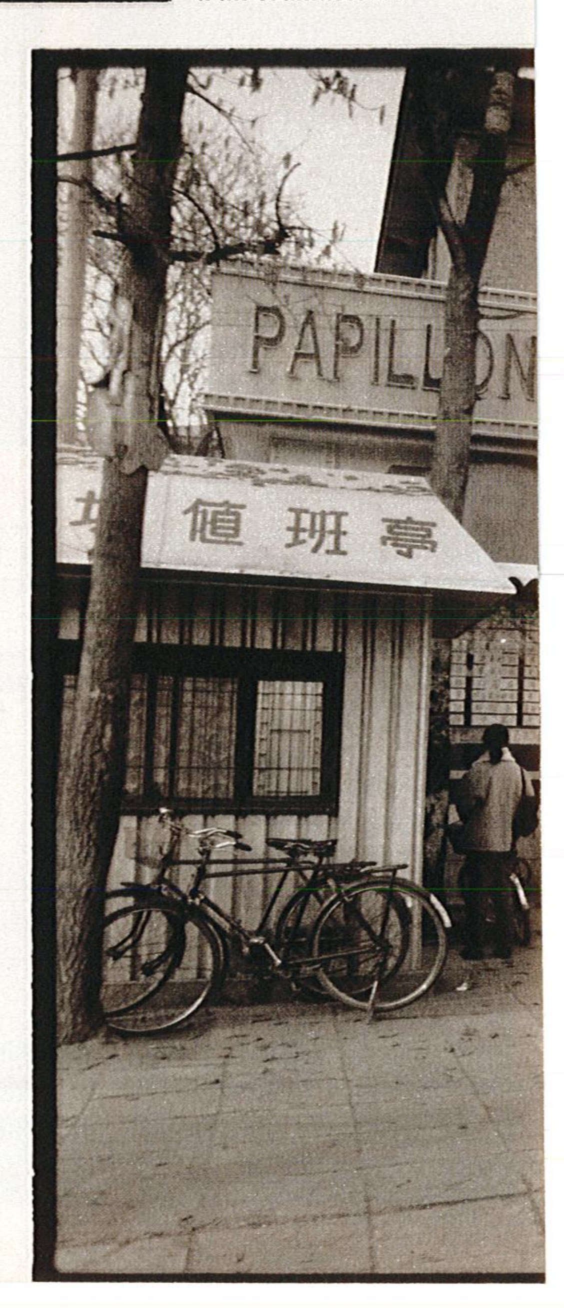
LA CHINE D'INTERNET



La grande muraille informatique

Si l'informatique arrive en force sur le marché chinois (ici, un entrepôt à Pékin), le retard en termes d'équipement est important : 86 % des habitants n'ont jamais touché à un ordinateur...





La modernité brûle les étapes

Bien qu'ils soient encore novices en la matière, les Chinois se voient proposer les derniers modèles d'ordinateurs au Pentium (P 5), des microprocesseurs très puissants et très rapides.



A vélo vers le progrès

A peine 1,6 % des familles possèdent un ordinateur et seulement 4,1 % ont l'intention d'en acheter un. Ce qui représente tout de même 15 millions de machines.

Café de l'info

60 % des internautes ont entre 20 et 30 ans. Et les "cybercafés" se multiplient dans les quartiers étudiants (ici, le Papillon Music Inter Net Cafe, près de l'université de Pékin).

La révolution cyberculturelle

LA CHINE D'INTERNET

Ouverture sur le monde

On dénombre une centaine de fournisseurs d'accès à Internet (à gauche, le directeur de la société East China Computer, à Shanghai). Mais, pour obtenir un abonnement au réseau, les candidats doivent effectuer un véritable parcours du combattant.



Dans sa bulle

Semblable à tous les "surfeurs" du monde, l'internaute chinois s'absorbe dans son voyage. Mais il ne jouit pas d'une liberté totale : jugés "subversifs", certains sites sont interdits.

Le grand bond en avant

Sur le réseau à la chaîne

S'ils n'ont pas les moyens de s'abonner au réseau, les Chinois se rendent – généralement à vélo – dans les "cybercafés". Au Sparkice Internet Cafe de Pékin, une heure de connexion et quelques boissons coûtent 10 % du budget mensuel d'un étudiant.



Les dangers inconnus des crèmes solaires

■ Sur la plage, enduit de crème, on se sent en sécurité... Illusion qui peut avoir de graves conséquences. Certes, les produits solaires protègent efficacement des coups de soleil, mais leur indice de protection est trompeur et ils ne mettent pas forcément à l'abri d'un cancer de la peau.

PAR GÉRALDINE MAGNAN

Les crèmes solaires ne protègent pas de tous les cancers de la peau. Elles favoriseraient même, indirectement, l'apparition du mélanome malin, le plus terrible des cancers cutanés. C'est ce que prouve une récente étude sur les grains de beauté, qui, lorsqu'ils sont nombreux, constituent le meilleur indicateur de risque d'apparition du mélanome.

Pas moins de douze chercheurs (1), issus de cinq organismes, ont dirigé cette large enquête. D'ici à quelques mois, leurs travaux seront publiés dans l'une des plus grandes revues scientifiques internationales consacrées à l'étude du cancer. Le soutien de la très sérieuse Organisation européenne de recherche et de traitement du cancer a permis aux scientifiques d'œuvrer en toute indépendance. Caution bien souvent absente des travaux menés à ce sujet, qui bénéficient fréquemment de l'aide financière des sociétés de cosmétiques.

Les scientifiques européens se sont attachés à la relation entre les grains de beauté, l'exposition au soleil et l'emploi des crèmes solaires. Les résultats sont stupéfiants : sou-

POPPERFOTO/COSMOS

Inquiétante courbe

En France, la courbe de mortalité par mélanome malin ne cesse de grimper. Chaque année, le nombre de cancers cutanés augmente de 7 % environ. L'exposition intermittente au soleil est le seul facteur de risque sur lequel on puisse influer.



mis à une forte exposition au soleil, les enfants qui utilisent souvent ou toujours de la crème solaire ont deux fois plus de grains de beauté que ceux qui n'en mettent jamais. Voilà qui pourrait susciter quelques remous dans le monde des fabricants de crèmes solaires, déjà bien secoué par ailleurs...

Premier coup de théâtre : le 17 février dernier, lors d'un congrès de l'Association pour les progrès de la science, à Philadelphie, Marianne Berwick avait mis en émoi nombre de dermatologues et d'industriels des cosmétiques. L'épidémiologiste américaine du Memorial Sloan-Kettering Cancer Center (New York) affirmait que les crèmes solaires ne protègent pas des cancers de la peau. Et plus particulièrement du mélanome, une prolifération maligne des mélanocytes, les cellules qui fabriquent la mélanine, pigment colorant la peau. Pour parvenir à cette conclusion, la scientifique a passé au crible dix études épidémiologiques.

Ce qui lui a également permis de tordre le cou à une idée bien répandue. « Dans l'esprit du public, il existe une corrélation majeure entre l'augmentation des activités de plein air et l'ac- ■ ■ ■

■ ■ ■ croissement des cancers de la peau. En fait, aucune donnée n'accrédite cette hypothèse », souligne Marianne Berwick. On observerait même plutôt le contraire. Les habitants des pays riches – quasiment les seuls à être atteints de mélanomes – ont quitté les champs pour travailler à l'usine ou dans les bureaux. Or, l'exposition chronique au soleil, celle des agriculteurs par exemple, semble protéger des mélanomes. En revanche, l'exposition intermittente constitue un facteur de risque. Et c'est justement dans ce cas qu'on se badigeonne de crème solaire... Selon Marianne Berwick, comme ce type de produit retarde efficacement l'apparition du coup de soleil, il supprime la sonnette d'alarme...

L'exposition chronique au soleil protégerait des mélanomes

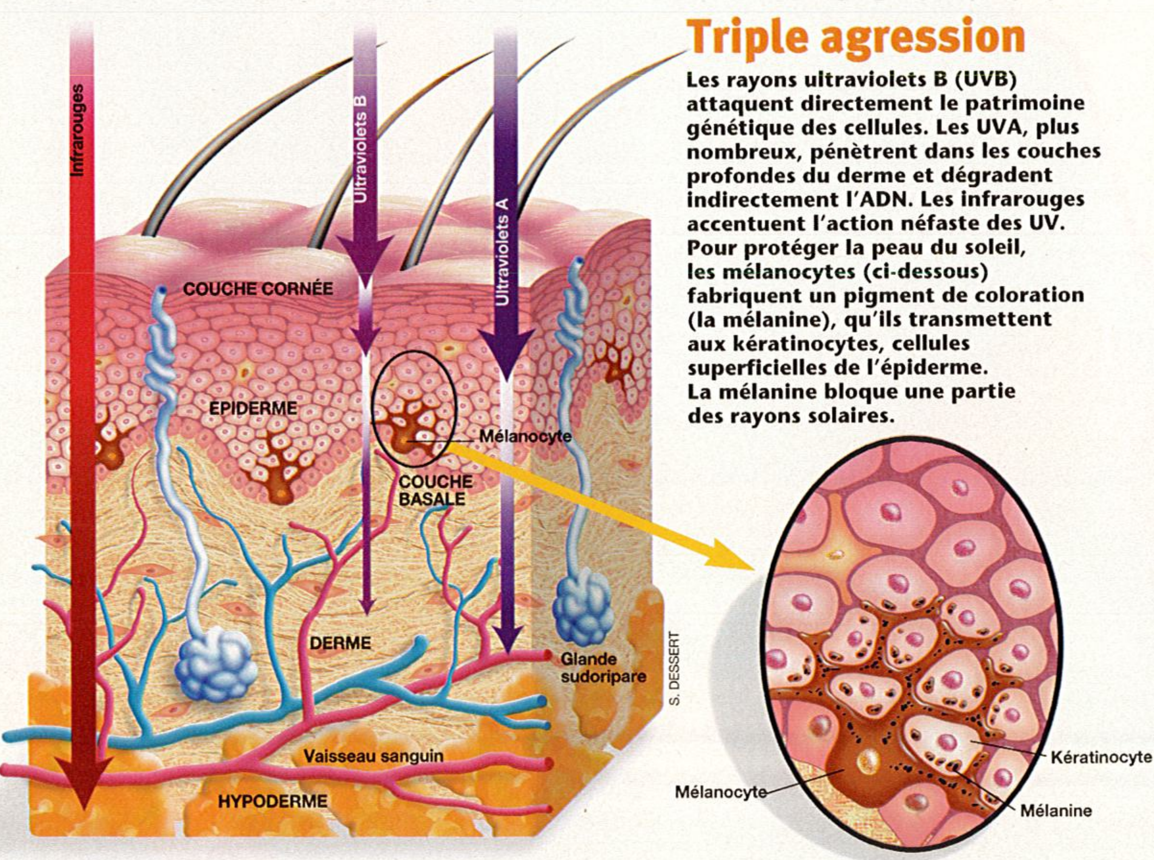
ÉCRAN FLOU

Si performantes soient-elles, les crèmes solaires ne bloquent jamais la totalité des rayons. Le terme "écran total" est donc abusif.

J. FEINE

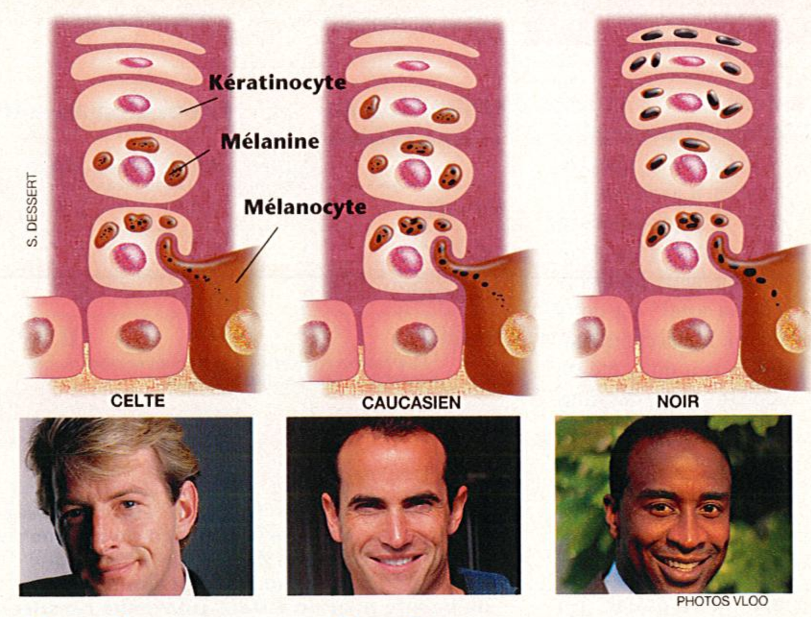
La contre-attaque des partisans des crèmes solaires ne se fait guère attendre. Le même jour, Roger Ceilly, président de l'Académie américaine de dermatologie, publie sur Internet une lettre accusant l'épidémiologiste d'irresponsabilité. Il affirme que « les crèmes solaires préviennent le vieillissement cellulaire et les cancers de la peau, y compris la plupart des mélanomes » et ajoute qu'« un nombre écrasant d'études » l'ont prouvé. Lesquelles ? Roger Ceilly ne le précise pas. Un mois plus tard, Darrel Rigel, également de l'Académie américaine de dermatologie, riposte à son tour. Il va jusqu'à pronostiquer des « dizaines de millions de cancers de la peau » aux Etats-Unis, si les Américains cessent d'utiliser les crèmes solaires.

Pourtant, une quinzaine de jours après cette déclaration, la revue



Triple agression

Les rayons ultraviolets B (UVB) attaquent directement le patrimoine génétique des cellules. Les UVA, plus nombreux, pénètrent dans les couches profondes du derme et dégradent indirectement l'ADN. Les infrarouges accentuent l'action néfaste des UV. Pour protéger la peau du soleil, les mélanocytes (ci-dessous) fabriquent un pigment de coloration (la mélanine), qu'ils transmettent aux kératinocytes, cellules superficielles de l'épiderme. La mélanine bloque une partie des rayons solaires.



Un pigment et des hommes

C'est un pigment, la mélanine, qui colore la peau. Plus la peau est foncée, plus les mélanocytes – qui synthétisent la mélanine – transfèrent de mélanine aux kératinocytes, ce qui restreint l'agression du soleil.

américaine *Archives of Dermatology* publie dans son numéro d'avril un commentaire qui appuie les résultats de Marianne Berwick. « Il n'y a aucune donnée montrant que l'utilisation des crèmes solaires protège des mélanomes », affirment Philippe Autier, de l'Institut européen d'oncologie (Italie), Jean-François Doré, de l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM, France), et Heike Luther, de l'université de la Ruhr (Allemagne).

Citant la totalité des études épidémiologiques sur le sujet (dont celles reprises par Berwick), les trois scientifiques enfoncent le clou. Car onze de ces douze études indiquent que le risque de cancer de la peau est supérieur chez les utilisateurs de crèmes solaires, en tenant compte des caractéristiques de sensibilité de la peau des individus. « La seule étude qui mette en avant une protection modérée due à l'utilisation de crèmes solaires montre aussi que le risque de mélanome diminue avec l'exposition au soleil, ce qui jette des doutes considérables sur la validité des résultats », affirment les chercheurs.

LA PEAU BLANCHE, UN FACTEUR DE RISQUE

Rares sont ceux qui doutent encore de l'influence du soleil sur le développement du mélanome. Même si les scientifiques n'ont toujours pas mis la main sur la "preuve absolue", un faisceau d'observations converge dans ce sens, et, selon Jean-François Doré, les trois quarts des mélanomes seraient dus au soleil. Le nombre de cas de mélanomes dans les populations "caucasiennes" (blanches) varie en fonction de la latitude. Il culmine à proximité de l'équateur, où le rayonnement solaire est maximal.

Mais pourquoi, en Europe, cette progression de latitude est-elle inversée ? On compte de deux à trois fois plus de mélanomes en Norvège et en Suède que dans les pays méditerranéens tels que la Grèce ou le Portugal. Explication : sur le Vieux Continent, la couleur de la peau varie, elle aussi, selon la latitude. Les individus à peau très blanche – facteur de risque important – vivent plutôt dans le Nord, et ceux qui arborent un teint plus hâlé habitent le Sud.

De plus, les études "cas témoins", qui comparent les caractéristiques des malades à celles d'individus sains, confirment la nocivité du soleil, particulièrement dans l'enfance.

Mais pourquoi les crèmes solaires, qui constitueraient un bouclier relativement efficace contre les rayons ardents, ne préviennent-elles pas l'apparition du mélanome, ainsi que l'affirme Marianne Berwick ? C'est là que, pour leur défense, les industriels assènent un argument de poids : la quasi-totalité des études épidémiologiques qui associent l'emploi des crèmes solaires au développement des mélanomes ont été effectuées avant 1990. Or, à l'époque, les indices de protection solaire étaient bien plus faibles qu'aujourd'hui. De plus, les cosmétiques ne filtraient qu'une petite partie du rayonnement solaire : les ultraviolets B (UVB). Mais, depuis une dizaine d'années, la nouvelle génération de filtres tente de neutraliser les ultra- ■ ■ ■

J. FEINE

Gel Solaire Bronzage Sécurité

FAUSSE SÉCURITÉ

Le bronzage ne protège pas la peau. Les crèmes solaires confèrent un faux sentiment de sécurité en retardant l'apparition du coup de soleil.

■ ■ ■ violets A (UVA), eux aussi très dangereux.

Il faut dire que ces crèmes n'arrêtent pas tout le rayonnement : elles agissent à la manière d'un tamis. Le terme "écran total" est donc abusif. L'objectif des fabricants a donc été de réduire la taille des trous du tamis. Aux filtres classiques, spécifiques des UVB, les industriels ont ajouté un filtre "UVA longs". Mais l'innovation majeure est venue de L'Oréal. En 1992, la multinationale commercialise des produits contenant du méxoryl SX, un filtre spécifique des UVA courts.

« Avec le méxoryl SX, qui nous permet de couvrir la totalité du

Stupéfaite, la biologiste avait gardé le silence

spectre UV, nous avons laissé nos concurrents loin derrière nous », se félicite Marie-Christine Auzou, responsable de la communication scientifique de L'Oréal. C'est d'ailleurs pour cette raison qu'elle ne s'inquiète pas outre mesure des résultats des enquêtes épidémiologiques menées avant 1990...

Seulement, l'argument ne tient pas. Conduite d'octobre 1995 à février 1997, la nouvelle étude européenne s'attache à des produits plus récents, qui filtrent aussi bien les UVA que les UVB, et se targuent d'indices de protection élevés. Or, la conclusion de ces travaux, menés sur 631 enfants âgés de 6 à 7 ans, est sans équivoque : « L'emploi des crèmes solaires serait impliquée dans le développement des mélanomes. » Car c'est certainement le même type de phénomène qui provoque l'apparition d'un mélanome et celle d'un grain de beauté, ce nævus qui est une prolifération bénigne des mélanocytes.

Tout en notant la couleur de la peau, des yeux et des cheveux des enfants, des médecins scolaires ont donc patiemment dénombré le nombre de taches brunes sur le corps de 321 garçons et de 310 filles de plusieurs écoles de Lyon, Bruxelles, Bochum et Rome. Pour écarter un éventuel biais dû au niveau socio-économique des parents, les scientifiques ont choisi des écoles situées dans des quartiers fort divers. Pendant toute l'expérience, les parents ont régulièrement répondu à un questionnaire détaillé. On a ainsi finement évalué la durée et le type d'exposition au soleil, le nombre de coups de soleil et la protection envisagée : crème solaire et son indice de protection, port de vêtements.

L'INDICE DE PROTECTION NE CHANGE RIEN

Dans chaque ville étudiée, le nombre de grains de beauté est d'autant plus important que l'enfant exposé au soleil utilise davantage de crème. Alors qu'il est plus faible quand les enfants sont régulièrement protégés par des vêtements. On arrive à la même conclusion si l'on ajuste les résultats en fonction des critères variables : la couleur de la peau, celle des yeux (2), la durée et l'heure de l'exposition, la latitude du lieu. De cette manière, les scientifiques calculent un "risque relatif", qui efface tous les biais imaginables et mesure le risque d'avoir un nombre de grains de beauté supérieur à la normale.

Les enfants qui n'ont jamais enduit leur corps de crème solaire et dont l'exposition au soleil a été très faible constituent le groupe de référence, pour lequel le risque relatif est de 1. Si les enfants exposent un peu leur peau tout en utilisant un cosmétique, le risque relatif monte jusqu'à 1,32. Mais c'est quand l'enfant profite pleinement du soleil, toujours

Utilisation de crème solaire	Exposition au soleil		
	faible	moyenne	forte
jamais	3	1,5*	5,5
parfois	4	6,5	7
souvent	4	6	8
toujours	9	9	10

* Fluctuation statistique due au petit nombre de cet échantillon. Source : Etude EORTC.

Crème solaire et grains de beauté

Le nombre de grains de beauté est le meilleur indicateur de risque d'apparition de mélanome malin. Les chiffres de l'étude européenne correspondent au nombre médian de grains de beauté pour un enfant (moyenne calculée sur la moitié des individus).

J. FEINE

ALERTEZ LES BÉBÉS

Attention aux crèmes solaires destinées aux petits enfants. Leur peau est particulièrement vulnérable aux rayons du soleil.

enduit de crème, que le risque est majeur : 2,13.

Si l'on ne considère que les grains de beauté situés sur le tronc – plus rarement découvert que le visage ou les membres –, pour une exposition donnée, l'usage d'une crème solaire fait grimper le risque jusqu'à 1,68. En revanche, le port d'un vêtement le fait chuter à 0,59. Et l'indice de protection ne change strictement rien à ces données.

Déjà, en 1995, Heike Luther, de l'université de la Ruhr, avait obtenu des résultats similaires. Stupéfaite, elle avait gardé le silence. Aujourd'hui, l'étude européenne confirme ses travaux, de même que ceux d'Esther Azizi, de l'université de Tel-Hashomer (Israël).

Mais comment le soleil peut-il attenter à l'intégrité de nos cellules et engendrer un cancer? La lumière se divise en trois grands types de radiations : les infrarouges, dont la longueur d'onde va de 800 nanomètres (1 nm = 10^{-9} m) à 1 mm; le rayonnement visible, de 400 à 800 nm; et les ultraviolets, les plus nocifs, de 200 à 400 nm. Car les radiations électromagnétiques sont d'autant plus dangereuses que leur longueur d'onde est plus courte.

Les ultraviolets sont eux-mêmes divisés en trois catégories : les UVA, de 320 à 400 nm; les UVB, de 280 à 320 nm; et les UVC, de 200 à 280 nm. Heureusement, les UVC, comme une grande partie des UVB, n'atteignent pas la Terre. Ils sont filtrés par l'atmosphère.



J. FEINE

PROTECTION DU PATRIMOINE

Certaines crèmes assurent qu'elles protègent l'ADN cellulaire (le patrimoine génétique). Mais cet effet n'a été observé qu'*in vitro*.

DE GRAVES DÉGÂTS DANS LES CELLULES

Mais un tiers des UVB qui frappent notre peau parviennent à franchir la couche cornée, première barrière de l'épiderme; 10 % d'entre eux s'enfoncent plus loin encore. Traversant tout l'épiderme, ils gagnent le derme, et provoquent, au long de leur parcours, de graves dégâts dans les cellules. Ces rayons s'attaquent au support du patrimoine génétique, en modifiant certaines liaisons qui unissent les nucléotides, les "briques" de l'ADN. La cellule met alors en branle un système complexe de réparation, dont le chef d'orchestre est la protéine p53.

Activée en réponse aux lésions de l'ADN, p53 va notamment donner l'ordre à toute une série de molécules d'éliminer les nucléotides défectueux et de les remplacer. Mais le système n'est pas à l'abri des erreurs. En outre, si les UVB ont modifié le gène de p53 ou d'un autre élément de la cascade, on court à la catastrophe... La machine peut s'emballer. Les cellules grossissent, se divisent et finissent par former une tumeur cancéreuse. ■ ■ ■

Couvrir les enfants

Une forte exposition au soleil avant l'âge de 10 ans est un facteur de risque de développement de cancer cutané à l'âge adulte. En revanche, le port de vêtements – qui reste la meilleure protection – fait chuter ce risque.



VLOO

■ ■ ■ En filtrant les UVB, les crèmes solaires préviendraient ce type de manifestation. Des expériences *in vitro* prouvent qu'en présence du cosmétique les cellules exposées à la lumière n'activent pas la protéine p53. Situation qui ne se produit que si l'ADN n'est pas abîmé. C'est pourquoi les crèmes et les laits "Capital soleil nouvelle génération", des laboratoires Vichy, c'est-à-dire de L'Oréal, se vantent de

Aujourd'hui, tous les regards se tournent vers les UVA

« protéger l'ADN cellulaire pour préserver la santé de la peau au soleil ». Mais leur notice oublie allégrement de préciser que cet effet n'a été observé qu'*in vitro*...

De plus, seules les cellules des cancers spino- et baso-cellulaires présentent des dégradations du gène de p53. On ne les retrouve pas dans le patrimoine génétique des cellules du mélanome malin. Or, ce type de lésion "signe" les méfaits des UVB, qui ne seraient donc pas à l'origine des mélanomes. C'est un autre type de rayonnement qu'on soupçonne...

Aujourd'hui, tous les regards se tournent vers les UVA. Ils forment les neuf dixièmes du rayonnement solaire et pénètrent très loin dans la peau. La moitié d'entre eux arrivent même jusqu'au derme. Ils détériorent l'ADN de façon indirecte.

Au cœur de la cellule, plusieurs molécules absorbent les UVA, qui excitent leurs atomes d'oxygène, produisant ainsi des radicaux libres. Dotés d'un unique électron, ces radicaux hydroxyles (OH) cherchent désespérément à retrouver leur stabilité en s'appariant à d'autres atomes. Pour y parvenir, les radicaux libres se fixent n'importe où. De cette manière, ils cassent toutes les molécules qu'ils rencontrent, sans épargner l'ADN.

« Ce type de lésion est particulièrement difficile à réparer, explique Jean-Pierre Césarini, chargé de recherche à l'INSERM. En outre, comme les infrarouges du rayonnement solaire provoquent une dilatation des vaisseaux sanguins, qui apportent ainsi davantage d'oxygène, leur action accroît le nombre de radicaux libres. »

Ce nombre devient particulièrement élevé quand le soleil agresse une peau blanche. La couleur de la peau est le résultat d'un équilibre entre deux types de pigments : la phæomélanine, abondante dans les peaux claires, et l'eumélanine, majoritaire dans les peaux sombres. Or, explique Delphine Demore, chimiste à l'INSERM, « l'eumélanine résiste bien à l'assaut des UV. En revanche, la phæomélanine, qui est une petite molécule, se fragmente sous leur action, donnant naissance à des radicaux libres ».

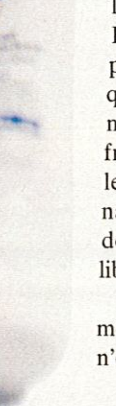
Et la liste des méfaits des UV n'est pas close. Ils dépriment fortement le système immunitaire de la peau. Après une seule exposition au soleil, il faut au moins trois semaines pour recouvrer des défenses efficaces. L'affaiblissement du système immunitaire expliquerait l'apparition de certaines pathologies estivales, telles que l'herpès ou l'impétigo, et jouerait un rôle dans le développement des cancers.

Mais comment se fait-il que les crèmes solaires soient non seulement inefficaces pour prévenir tous les cancers mais également dangereuses ? « Par eux-mêmes, ces produits ne sont pas nocifs, bien au contraire, puisqu'ils protègent des coups de soleil, répond Jean-François Doré. Mais, comme ils permettent de rester plus longtemps sous les rayons, ils suscitent un comportement à risque. »

C'est pourquoi les douze scientifiques européens notent en conclusion de leur étude : « Les consommateurs devraient être informés des dangers potentiels associés à la combinaison de l'utilisation des crèmes solaires et de l'exposition récréationnelle [c'est-à-dire intermittente]. Par conséquent, les messages de prévention du cancer devraient dissuader d'utiliser des crèmes solaires dans le but de s'exposer plus longtemps au soleil. »

COMPORTEMENT INCONSCIENT ?

Or, les résultats préliminaires d'une autre étude, également coordonnée par Philippe Autier et Jean-François Doré, confirment que l'utilisation de crème solaire prolonge la durée de l'exposition. « Ce comportement s'effectue sans que les utilisateurs en aient conscience, précise Jean-François Doré. Après avoir acheté des crèmes solaires de divers indices, nous les avons recondition-



J. FEINE

INDICES À LA HAUSSE

Les nouveaux cosmétiques affichent des indices de protection de plus en plus élevés. Mais leur calcul n'a rien de réaliste.



VLOO

Le prix des vacances cartes postales

Une peau bien tannée... le rêve de nombreux vacanciers. Mais la mode du bronzage favorise le développement des mélanomes malins. Pour obtenir tout en douceur un teint hâlé, il faut éviter le midi solaire (de 12 à 16 heures, durant l'été en France).

nées dans des tubes vierges de toute annonce. Les personnes à qui l'on a fourni des crèmes à l'indice élevé ont consommé beaucoup moins de produit et sont restées plus longtemps au soleil. Elles n'ont regagné l'ombre que quand elles ont ressenti une vive sensation de chaleur. »

En outre, les indices de protection des crèmes solaires seraient quelque peu trompeurs... Ainsi, selon Jean-Pierre Césarini, pour connaître l'indice réel de protection de l'ADN, il faut diviser au moins par seize le chiffre annoncé par le fabricant. Car les indices de protection sont calculés pour une quantité de cosmétique de 2 milligrammes par centimètre carré de peau.

Or, d'après le chercheur, « on estime que la plupart des gens en mettent quatre fois moins. On peut donc d'ores et déjà diviser le chiffre annoncé par quatre. Ainsi, un indice 40, qui signifie qu'on mettra quarante fois plus de temps à attraper un coup de soleil que si l'on ne met pas de crème, devient un indice 10. Mais seulement un quart du rayonnement qui provoque le coup de soleil suffit à dégrader l'ADN. L'indice chute donc à 2,5. »

Si, malgré tout, les peaux blanches souhaitent s'exposer au soleil, un conseil : éviter scrupuleusement les heures chaudes de la journée, pendant lesquelles on reçoit les trois quarts de la dose quotidienne du rayonnement ultraviolet. ■

J. FEINE

ASSOCIATION TROMPEUSE

L'association du terme "santé" à un terme scientifique (p53, la protéine gardienne du génome), laisse penser que la crème protège du cancer. Ce qui reste à démontrer.

(1) Philippe Autier, Maria Cattaruzza, Maura Mezzetti (Institut européen d'oncologie, Milan, Italie), Jean-François Doré, Isabelle Monjaud (INSERM U 453, Lyon, France), Françoise Renard, Martine Andry, André Grivegnée (Institut Jules-Bordet, Bruxelles, Belgique), Heike Luther (hôpital Saint-Joseph, université de la Ruhr, Bochum, Allemagne), Flaminia Gentiloni-Silverj, Ester Zantedeschi, John Osborn (Institut de l'hygiène, université La Sapienza, Rome, Italie).

(2) Le nombre de nævi ne varie pas avec la couleur des cheveux.

DERMATOLOGIE

L'art de faire peau

■ Grâce à des avancées significatives, il devient très difficile de distinguer – même au microscope – une peau synthétique d'une peau naturelle. Les applications de ces nouvelles techniques sont innombrables, en immunologie, en toxicologie, en médecine des greffes, etc.

PAR **MARIE-SOPHIE GESSAT**

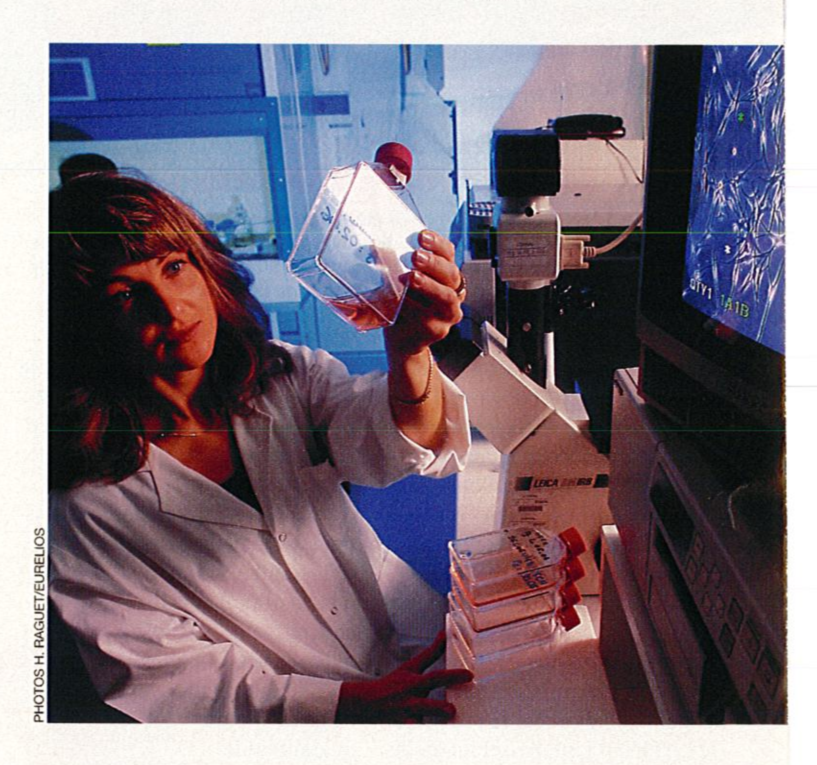
La peau artificielle que pourrait revêtir l'androïde du XXIe siècle n'est pas prête… Mais on y travaille. D'ores et déjà, plusieurs laboratoires savent assez bien reproduire isolément deux structures tissulaires essentielles à la construction de l'édifice cutané, l'épiderme et le derme. Les applications de ces modèles abondent, en dermatologie, pour étudier par exemple le vieillissement cutané, en cancérologie, en immunologie. Enfin, en médecine des greffes, car les nouveaux greffons se comportent comme des pansements vivants…

UN MÉLANOME MALIN SUR DE LA PEAU SYNTHÉTIQUE

Le laboratoire Peau humaine et Immunité de l'INSERM de Lyon vient tout juste de reconstituer, sur un modèle de peau synthétique, l'architecture épidermique d'un mélanome malin. Une première prometteuse pour la compréhension du développement de ce type de cancer.

Autre exploit de cette équipe de l'INSERM, en collaboration avec un laboratoire de la société L'Oréal : les chercheurs ont doté des fragments de peau artificielle des défenses immunitaires propres à l'épiderme vivant.

Comment fabriquer de la peau artificielle, alors que la peau est d'une grande complexité structurale et fonctionnelle? Les biologistes ont contourné l'obstacle en reconstituant séparément deux des trois grandes parties de la peau, l'épiderme et le derme. (Le feuillet adipeux sous-jacent du derme, l'hypoderme, n'est pas indispensable.)



PHOTOS H. RAGUET/EURELIOS

L'épiderme est un tissu externe soumis aux agressions du milieu extérieur. Il dispose pour se défendre de cellules du système immunitaire hautement spécialisées : les cellules de Langerhans. Mais celles-ci s'intègrent mal dans un épiderme artificiel et rendent très difficile la reproduction de cette couche cutanée.

Dépourvue de vaisseaux sanguins et de nerfs, elle tire son énergie et sa nourriture d'un tissu fibreux sous-jacent : le derme. Vascularisé et innervé, celui-ci sert de support physiologique naturel à l'épiderme *in vivo*, ce qui oblige à le fabriquer *in vitro* avant l'épiderme.

Le derme se présente sous la



on a tué les cellules par une série d'irradiations ou de congélation-décongélation, de manière à ne garder que la matrice extracellulaire.

Le second associe fibroblastes et collagène : après s'être multipliés dans un milieu nutritif, des fibroblastes sont insérés dans un gel de collagène. Ils se lient aux fibres collagéniques et les rassemblent en faisceaux, ce qui provoque la contraction du gel. Bien que dépourvu de vaisseaux sanguins et de nerfs, celui-ci présente alors une architecture fondamentale similaire à celle d'un derme vivant, ce qui fait de lui un "équivalent dermique".

Enfin, le troisième modèle associe le collagène et des glycosaminoglycannes. On obtient un matériau gélatineux et lyophilisable, qu'on pourra ultérieurement ensemencer avec des fibroblastes pour qu'il se rapproche davantage encore de la réalité.

Les applications scientifiques de ■ ■ ■

Cette peau est fausse !

Elle ressemble à s'y méprendre à une vraie peau humaine. Son derme est issu d'un tissu vivant dont on a conservé la forme papillaire, ce qui renforce la fixation de l'épiderme synthétique. Celui-ci est organisé en strates, de la couche basale, où les cellules germinatives sont visibles, à la couche cornée, où les cornéocytes en lamelles s'éliminent à mesure que l'épiderme se renouvelle... La biologiste (ci-contre) pratique une culture de mélanocytes (cellules sécrétant la mélanine) pour ensemencer un épiderme synthétique semblable à celui-ci.

forme d'un gel de glycoprotéines (riches en glucides), dont certaines, par exemple les glycosaminoglycannes, favorisent l'adhérence du gel aux éléments qu'il contient : les fibroblastes et les fibres d'élastine. Les premiers sont des cellules fibreuses qui sécrètent le collagène, une protéine du tissu conjonctif; les secondes, qui se dégradent avec le temps, garantissent l'élasticité du derme.

Trois modèles dermiques sont actuellement en vigueur : le premier met en scène un derme modifié provenant d'un fragment de peau dont

Le derme de synthèse au secours des grands brûlés

■ ■ ■ ces dermes de synthèse sont capitales. Le premier modèle, pour lequel la matrice extracellulaire est le seul composant utilisable, servira de feuillet témoin lors de la reconstitution complète de la peau. On pourra facilement étudier les relations physiologiques et les caractéristiques de la fixation d'un épiderme de synthèse sur ce derme.

Le second modèle reproduit des processus physiologiques comparables à ceux qu'on observe *in vivo*. En effet, au bout de deux ou trois jours, les fibroblastes qui peuplent ce derme cessent de proliférer. Les cellules surnuméraires se détruisent mutuellement ou s'autodétruisent naturellement. Enfin, l'activité enzymatique et la perméabilité membranaire cellulaire ressemblent à celles d'un derme natif.

Les greffes de peau constituent la principale application médicale du derme de synthèse, notamment pour les grands brûlés, chez qui elles n'entraînent pas de rejet. En effet, les cellules de reconnaissance immunitaire telles que les macrophages et les mastocytes, deux variétés de globules blancs, sont absentes des greffons. Ceux-ci sont donc facilement colonisés par les fibroblastes du malade, pour constituer un pansement vivant qui, ultérieurement, se fondra dans la peau.

De plus, ces équivalents dermiques rendent possible la simulation de certaines maladies du derme, par exemple l'épidermolyse bulleuse récessive dystrophique, une maladie génétique qui provoque notamment l'apparition de kystes épidermiques, ou la sclérodermie systémique, caractérisée par une localisation de la sclérose dans les téguments, comme dans la sclérose en plaques.

Cependant, la vascularisation et l'innervation restent les grands absents de ces reconstitutions, ce qui restreint leurs potentialités. En revanche, les modèles de synthèse offrent un support acceptable à l'épiderme artificiel. On applique en premier lieu de la trypsine sur un petit prélèvement de peau humaine. Cette enzyme sectionne les protéines des tissus cutanés et dissocie l'épiderme du derme. Un second traitement de l'épiderme seul par la trypsine en libère les cellules.

Deux types de cellules se révèlent capitaux pour une bonne reconstitution du tissu : d'abord, les cellules germinatives, situées dans la couche basale de l'épiderme. Ce sont des cellules indifférenciées, capables de se transformer en kératinocytes, cellules qui constituent les 95 % de l'épiderme. Le second type cellulaire est le type dendritique, qui regroupe les cellules de Langerhans et les mélanocytes. Ceux-ci libèrent dans l'épiderme des pigments protecteurs : la mélanine (voir, dans l'article précédent, le dessin p. 94).

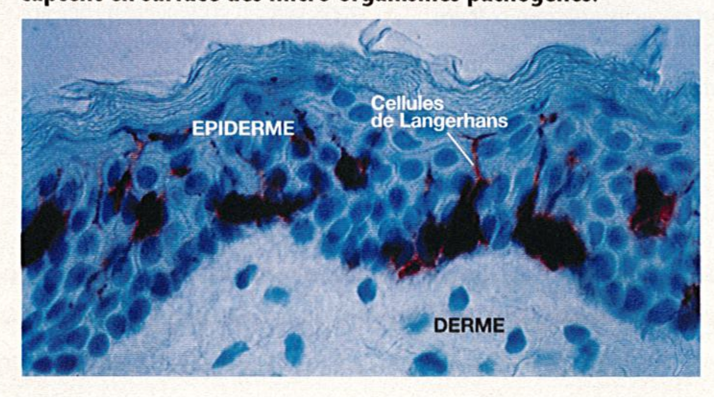
UN MODÈLE ÉPIDERMIQUE ASSEZ PROCHE DE LA RÉALITÉ

La dissociation de l'épiderme par la trypsine libère également des molécules, synthétisées par les kératinocytes, telles que la laminine, glycoprotéine nécessaire à l'adhérence cellulaire de l'épiderme sur le derme. Ces molécules participent à l'élaboration d'une lame "fixatrice" de l'épiderme au derme, appelée aussi jonction dermo-épidermique. La structure de cette lame dépend de l'activité de ces deux couches.

A ce stade, ces cellules et ces molécules spécifiques de l'épiderme naturel sont en suspension dans un liquide. Elles vont être déposées sur un derme artificiel immergé dans un milieu nutritif. Elles se multiplient pour former une fine couche d'épiderme. Dernière étape : on rehausse l'ensemble de manière que le "néoépiderme" affleure au contact de l'air. A la suite de la production massive de kératine, une couche cornée comparable à celle de notre peau se forme en surface : un feuillet de kératinocytes transformés en cornéocytes (cellules cornées mortes).

Une première en immunologie

Cette peau artificielle, réalisée par une équipe de l'INSERM (Lyon) associée à un laboratoire de L'Oréal (Clichy), est dotée de cellules de Langerhans actives, donc de défenses immunitaires. Leurs prolongements cellulaires captent en surface des micro-organismes pathogènes.





La topographie de la peau sous UV

La mesure du relief cutané s'effectue grâce à une méthode de profilométrie au laser sur moulage (ci-dessous). Utilisée ici sur une peau naturelle, cette méthode peut être employée pour étudier le vieillissement d'une peau synthétique exposée aux ultraviolets. Elle permet même de suivre sous UV les diverses réactivités des grands types de peau : caucasien, celtique, noir, asiatique, reconstitués artificiellement.

PHOTOS H. RAGUET/EURELIOS

Ce modèle épidermique est assez proche de la réalité, à l'exception de son organisation cellulaire spécialisée dans la défense immunitaire et représentée par les cellules de Langerhans. De récentes recherches ont montré que la technique d'ensemencement de ces cellules au sein d'un épiderme reconstruit n'est pas efficace. Quand on les introduit, elles meurent rapidement.

Cet écueil est en passe d'être surmonté au moyen de cellules souches de cellules sanguines, qui, une fois ensemencées, se transformeraient en cellules de Langerhans, sous l'influence des kératinocytes… Une équipe de l'INSERM (U 346, Peau humaine et Immunité, dirigée par le Pr Daniel Schmitt), associée au laboratoire de recherche en biologie du soin de L'Oréal est parvenue à insérer dans un épiderme reconstruit jusqu'à 20 % du taux normal de cellules dendritiques.

Les expériences progressent pour en augmenter le nombre et pour comparer leurs comportements *in vitro* et *in vivo*, au moyen de tests de tolérance cutanée. S'il était validé, ce nouveau modèle favoriserait une plus fine observation des réactions cutanées face aux molécules actives contenues dans un médicament ou dans un cosmétique appliqués sur la peau.

BIENTOT UTILISÉE POUR DES TESTS DE TOLÉRANCE

La peau artificielle la plus aboutie s'obtient à partir du derme modifié. Au microscope, on y voit nettement les cellules germinatives et les mélanocytes. La couche cornée présente un aspect feuilleté caractéristique. On observe aussi le détachement de fins lambeaux cellulaires représentatifs du processus naturel de la desquamation, donc du renouvellement de l'épiderme. La matrice extracellulaire est conservée, tout comme la forme des papillarités dermiques qui se situent juste au-dessous de la jonction dermo-épidermique. Ces papillarités renforcent la fixation de l'épiderme au derme.

Les autres modèles de peau reconstruite, bâtis sur des équivalents dermiques tels que le gel collagénique sont moins proches d'un modèle vivant, car la couche cornée est compacte et éloignée de sa forme originelle, en raison de perturbations de la division cellulaire. Mais ils ont l'avantage d'être faciles à fabriquer.

Les débouchés scientifiques de ces divers modèles de peau ne manquent pas. En dermatologie, on peut cultiver, puis insérer sur un modèle des mélanocytes appartenant aux groupes caucasien (blanc), noir et asiatique. On obtient des fragments cutanés de colorations typiques sur lesquels on étudie les effets des rayons ultraviolets, pour analyser les degrés du photovieillissement de chaque type de peau. Autre avantage de ces modèles : leur utilisation devrait réduire le nombre de tests de tolérance cutanée, qu'on pratique aujourd'hui sur de simples cultures de cellules, sur l'animal et parfois même sur l'homme.

Si aucune peau artificielle ne recrée à l'identique l'architecture cellulaire et fonctionnelle du vivant, les modèles actuels présentent l'intérêt d'être modulables et démontables à la façon d'un Meccano. Ce qui multiplie la variété des expérimentations et étend constamment leur champ d'application. ■



La vie de la forêt après le feu

Les incendies sont-ils vraiment un péril mortel pour la forêt méditerranéenne ? La majorité des scientifiques sont aujourd'hui convaincus qu'au contraire c'est le feu qui préserve sa diversité. Quel rôle l'homme doit-il jouer dans le combat qui depuis des millénaires oppose la forêt et l'incendie ?

PAR SOPHIE DE SALETTES

Trois mille cinq cents hectares de cendres. C'est le bilan de l'incendie qui a ravagé les collines de Marseille en juillet 1997. « C'est un désastre écologique », s'exclamait alors le préfet des Bouches-du-Rhône. « Une catastrophe sociale, économique et paysagère, sans doute. Mais certainement pas une catastrophe écologique », affirme de son côté Jacques Amar, responsable du bureau d'étude de l'Office national des



P. SCHWARTZ/SIPA PRESS

La nature reprendra le dessus

Les garrigues et les pinèdes de la région marseillaise sont parmi les zones les plus sensibles aux incendies. Inutile de s'obstiner à réhabiliter, à grands frais, des secteurs qui risquent d'être à nouveau la proie des flammes. Mieux vaut "laisser faire la nature" et accepter un paysage temporairement dégradé.

forêts (ONF) d'Aix-en-Provence.

Le feu est-il bénéfique ou nocif pour les milieux naturels ? Comment la forêt réagit-elle aux incendies ? L'intervention de l'homme est-elle indispensable à son rétablissement ? Les avis divergent. Les intérêts aussi.

Aujourd'hui, un an après le passage du feu sur la chaîne de l'Etoile, près de Marseille, les troncs des arbres calcinés se dressent sur un tapis vert de trèfles, de luzernes et de pousses de chênes kermès. La végétation reprend vie peu à peu, sans que l'homme soit intervenu.

La réhabilitation de cet espace est estimée à 40 millions de francs. Pour quoi faire ? Avant tout pour que le paysage redevienne agréable au plus vite. C'est le principal objectif des élus, qui s'attachent à maintenir une bonne image de leur région, dans la perspective des échéances électorales. « Ils nous demandent d'effacer le mal au plus vite, explique Jacques Amar, chargé du dossier de réhabilitation. En général, sous la pression sociale, ■ ■ ■

■ ■ ■ nous privilégions l'aspect paysager par rapport à l'aspect écologique. »

Les feux de forêt impressionnent la population. Les images des terrains nus et noirs peuvent déchaîner les passions. En 1989, l'incendie de la montagne Sainte-Victoire, près d'Aix-en-Provence, avait mobilisé les foules. « Le feu ravage les célèbres paysages de Cézanne », s'écrient les associations de protection de la nature. Affiches et collectes de dons se multiplient pour financer le reboisement. En réalité, les paysages de Cézanne ressemblent à ceux qu'engendre le feu. A savoir la garrigue, recolonisée par les arbres depuis le début du siècle, faute d'incendie.

Sous la pression sociale, on privilégie le paysage et non l'écologie

C'est donc l'aspect de la forêt qui prime. Souvent, sa résistance et sa reconstitution naturelle ne sont prises en compte que s'il reste du temps et de l'argent. L'apparence, elle, n'a pas de prix. Chaque année, les régions Languedoc-Roussillon et Provence-Alpes-Côte d'Azur dépensent près de 200 millions de francs pour reboiser leur territoire. « Environ 10 % des forêts incendiées sont reboisées par l'homme », précise Eric Rigolot, de l'unité de recherches forestières méditerranéennes (Institut national de la recherche agronomique, Avignon).

Pourtant, la végétation méditerranéenne est particulièrement adaptée aux incendies. Elle subit des feux sauvages depuis la nuit des temps et n'en a pas disparu pour autant. Elle brûle, puis, la plupart du temps, renaît sur le terrain incendié.

Depuis plus de vingt ans, Louis Trabaud, directeur de recherche au CNRS, et son équipe du Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive de Montpellier étudient la capacité de régénération des végétaux méditerranéens après le passage du feu. « Le feu n'a qu'un effet éphémère sur la végétation, explique le spécialiste. Elle reprend presque systématiquement ses droits quelques années, voire quelques mois après l'incendie. »

La majorité des arbres feuillus méditerranéens résistent au feu. Les chênes, par exemple, brûlent mais ne meurent pas. Ils se régénèrent par voie végétative, à partir de leur souche ou de leur tige souterraine (rhizome).

DES BOURGEONS NÉS DU FEU

« Quand un chêne vert est détruit par le feu, sa souche est protégée par la terre et par son écorce très épaisse, explique Eric Rigolot. En revanche, les flammes détruisent l'écorce fine des branches et les tissus végétaux qu'elles renferment. » Mais le temps de régénération de ces arbres est long, puisqu'ils n'arrivent à maturité qu'au bout d'une quarantaine d'années. En outre, la reproduction sexuée du chêne vert est peu efficace. Leurs glands, trop lourds, ne peuvent se disperser que s'ils sont transportés par les animaux. Encore faut-il qu'ils puissent germer. Ils sont d'une part la cible privilégiée de divers prédateurs et parasites. D'autre part, ils ne peuvent se développer que sous un couvert forestier. Ainsi, pour résister aux incendies, le chêne vert mise sur le stockage de réserves dans son appareil végétatif souterrain. Un peuplement de chênes verts retrouve naturellement un aspect forestier de vingt à quarante ans après le feu.

De même, certaines plantes arbustives telles que les bruyères, les arbousiers et les daphnés se régénèrent par rejet de souche après le passage du feu.

La sécurité, un argument alibi

Après chaque incendie, les forestiers aidés de volontaires (ici, des scouts de France à Saint-Antonin-du-Bayon) abattent les arbres morts dont la chute présenterait un danger. Pour donner une meilleure image de leur région, certains élus locaux et des responsables du tourisme encouragent la coupe de l'ensemble des arbres brûlés.

P. PARROT/SYGMA


P. PARROT/SYGMA

La Sainte-Victoire défigurée ?

L'incendie qui a ravagé, en 1989, la montagne Sainte-Victoire a frappé la population, qui déplorait la perte des paysages de Cézanne. Pourtant, certains tableaux du peintre, exécutés près du fameux site, montrent des garrigues et des arbres semblables à ceux qui repoussent naturellement après le passage du feu.

Quand un chêne kermès brûle, ses branches et ses feuilles sont entièrement détruites. Seul son rhizome, enfoui sous la terre, survit. En brûlant les parties aériennes de l'arbre, le feu détruit les hormones (auxines) qu'elles contiennent. En temps normal, ces substances inhibent la production de bourgeons. Leur disparition déclenche la fabrication de pousses par le rhizome. C'est alors que l'arbre repousse. Le chêne kermès est l'un des arbres méditerranéens les mieux adaptés au feu. Sa tige souterraine contient une très grande quantité de réserves amidonnées : le double en poids de ce que représente la partie visible de l'arbre ! Le chêne kermès peut ainsi survivre à plusieurs feux très rapprochés dans le temps.

Certaines espèces telles que le chêne-liège ou l'arbousier présentent une résistance accrue au feu, grâce à une écorce très épaisse et isolante qui ne brûle que superficiellement. Elle protège les assises génératrices (cambium) et les tissus conducteurs de l'arbre. Par ailleurs, ces feuillus possèdent des bourgeons dormant sous leur écorce, dont le développement est également bloqué par l'action d'auxines. Or, une fois ces substances hormonales détruites par le feu, plus rien n'empêche les bourgeons situés sous l'écorce des branches de croître (repousses épicormiques). Ainsi, un chêne-liège en apparence complètement brûlé est capable de reformer son feuillage en quelques semaines, à partir de ses branches principales. En moins de dix ans, un peuplement de chênes-lièges incendié peut retrouver un aspect "forestier". Cependant, si l'incendie est assez violent pour détruire ses parties aériennes, le chêne-liège se régénère, comme le chêne vert, par rejet de souche. Il lui faudra alors de vingt à vingt-cinq ans pour retrouver son aspect d'arbre sain.

PREMIÈRES VICTIMES : LES CONIFÈRES

Les chênes pubescents, quant à eux, font partie des arbres méditerranéens les moins sensibles aux incendies, grâce à leurs très faibles inflammabilité et combustibilité. Toutefois, si l'incendie est particulièrement violent, ils peuvent brûler et ont alors du mal à se régénérer. Cette essence constitue des milieux qui brûlent rarement.

Dans la forêt méditerranéenne française, le feu tue la plupart des conifères qu'il trouve sur son passa- ■ ■ ■

■ ■ ■ ge. Pour assurer leur régénération (voie sexuée), les pins libèrent une grande quantité de graines riches en protéines dans les semaines qui suivent l'incendie. Le feu contribue à cette dissémination en faisant éclater les cônes des arbres. Légères et ailées, les semences se dispersent aisément, puis retombent sur le sol. Elles germeront à l'automne (mais certaines ne survivront pas à l'hiver) ou au printemps suivant. Cependant, elles ont peu de prédateurs et de parasites. Généralement, les graines libérées avant l'incendie résistent bien au feu, grâce à leur enveloppe particulièrement épaisse. En outre, quand les graines des pins environnants épargnés par le feu se dispersent, elles atteignent souvent la zone incendiée. Ce sont toutes ces graines qui assureront la régénération des conifères, principalement les pins d'Alep, les pins pignons et les pins maritimes dans les forêts méditerranéennes. Les jeunes pins atteindront leur maturité vers l'âge de 10 ans, soit de quatre à six fois plus vite que les chênes verts.

Chez certaines espèces d'arbustes qui se régénèrent par voie sexuée, les graines ne peuvent germer qu'après le passage du feu. Les semences du ciste, par exemple, restent en dormance si un choc thermique de 100 à 150 °C ne les active pas. « Il semble que leur enveloppe se fissure au contact du feu et laisse pénétrer dans la graine l'eau nécessaire au développement de l'embryon végétal », explique Louis Trabaud.

Comme chez les chênes, les flammes pourraient aussi détruire les substances inhibitrices qui bloquent la germination de la graine. De plus, le feu élimine les plantes compétitrices des conifères ou des arbustes et, en ouvrant l'espace, accroît l'ensoleillement de la zone brûlée. Ainsi, sans le passage du feu, de 4 à 5 % seulement des semences germent…

PHOSPHORE, CALCIUM ET POTASSIUM À FOISON

Néanmoins, le feu laisse derrière lui un espace forestier pauvre. Selon la nature du sol, le tapis de cendres qui recouvre le sol est éliminé par les pluies et les vents d'un mois à deux ans après le passage du feu. Les troncs des conifères encore debout tombent sous l'assaut du vent, de deux à trois ans après l'incendie. Ils seront entièrement décomposés au bout d'une dizaine d'années. Quant aux chênes brûlés, ils ne s'effondrent jamais. Les rejets de souches les dissimulent de quinze à vingt ans après le feu. Dans les premiers mois qui suivent l'incendie, peu d'espèces végétales cohabitent sur le site.

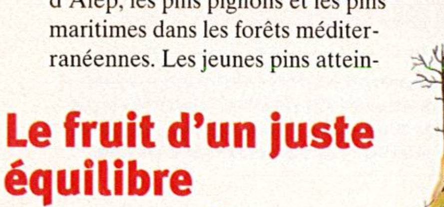
Le feu a créé un environnement ouvert, où la litière a disparu. Mais les cendres sont très riches en minéraux, notamment en phosphore, calcium et potassium. Ces éléments qui enrichissent le sol sont à la disposition des plantes. C'est alors que quelques espèces, souvent étrangères au milieu d'origine et adaptées aux terrains ouverts, envahissent la zone incendiée. Progressivement, le nombre d'espèces augmente. Avant la troisième année qui suit le passage du feu, la richesse floristique atteint son maximum.

AVANT L'INCENDIE

Pins maritimes

Chênes-lièges

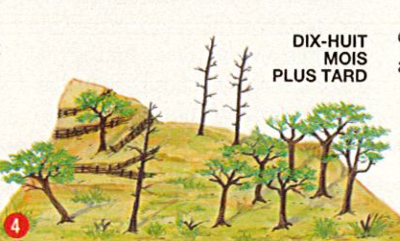
1



Le fruit d'un juste équilibre

Lorsqu'un incendie ❷ a ravagé un massif de forêt méditerranéenne ❶, l'érosion menace. Pourtant, en abattant, dès les jours suivants ❸, les arbres morts qui risquent de tomber et en les utilisant pour réaliser des fascines – les troncs calcinés sont placés perpendiculairement au versant –, l'érosion est rapidement maîtrisée. Pendant l'hiver qui suivra, les branches des chênes-lièges les plus atteintes devront être taillées et les chênes verts et autres feuillus recépés. Dix-huit mois plus tard ❹, les chênes-lièges dont les rejets auront été insuffisants, seront également recépés. Quant aux pins maritimes, leurs graines dispersées au moment de l'incendie auront germé. La régénération naturelle de la forêt sera alors assurée. Des travaux sans commune mesure avec ceux que préconisent les partisans du reboisement.





A. MEYER

Les plantes annuelles pionnières modifient le terrain en produisant de la matière organique (humus) sur un sol que le feu avait entièrement dénudé. C'est alors que les arbustes de moins de 25 cm de hauteur (chaméphytes) colonisent le milieu. Puis c'est le tour de plantes ligneuses de plus en plus hautes : thym, lavande, cistes, ajoncs, bruyères... Les arbres d'origine reprennent le dessus et la richesse floristique se stabilise. Au fur et à mesure que les peuplements vieillissent, les espèces étrangères disparaissent, la végétation reprend sa physionomie antérieure...



Un pin frondeur

Le pin des Canaris, toutefois assez rare dans le Midi, se distingue de toutes les autres pins qui poussent dans la région : après le passage du feu, il est le seul à émettre des rejets de branches.

DR

Cependant, l'adaptation des végétaux au feu a des limites. Une fréquence trop élevée des incendies peut déstabiliser leur système de résistance. « Une pinède risque de disparaître si elle subit plus de trois feux espacés de cinq à six ans environ », précise Louis Trabaud.

LES DANGERS DES INCENDIES TROP FRÉQUENTS

En revanche, les cistes supportent bien les feux successifs, s'ils sont espacés d'au moins trois ans. En effet, comme il faut cinq ans aux graines de ciste pour atteindre leur maturité, si les feux sont trop rapprochés, les semences stockées dans le sol s'épuisent, sans qu'une nouvelle génération de graines ait le temps de germer. Les arbustes ne seront plus en mesure de se régénérer. Une forêt de chênes verts ou de chênes-lièges peut résister à trois incendies successifs, espacés de cinq ans. Mais ils auront besoin par la suite d'une longue période sans incendie, afin de reconstituer leurs réserves souterraines.

« C'est seulement quand les capacités de régénération des végétaux s'épuisent que les reboisements se justifient, estime Jean-Louis Hétier, ingénieur agro-écologue du Conservatoire de l'espace littoral et des rivages lacustres. Mais la fréquence des incendies est rarement élevée dans la forêt méditerranéenne. »

Il est arrivé que le feu fasse disparaître des peuplements de pins d'Alep. En effet, leur capacité de régénération diminue fortement quand la fréquence des incendies dépasse vingt ans. Dans ce cas, les paysages se modifient. La pinède se transforme le plus souvent en garrigue, moins riche biologiquement, mais mieux adaptée au feu. La garrigue brûle plus facilement que le pin, mais se régénère plus vite. Ainsi, dans les "zones rouges", les plus sensibles, qui, estime-t-on, occupent 5 % de la forêt méditerranéenne (Côte bleue et calanques dans la région de Marseille, cap Sicier dans la région de Toulon), la garrigue a pris le dessus sur les espaces boisés.

Ces zones brûlent tous les vingt ans en moyenne. Mais, si elles ne subissent pas d'incendie pendant plus de vingt ans, les arbres se réinstallent. « Sur les terrains secs et nus, explique Maurice Chautard, technicien forestier de l'ONF à Béziers, seuls les pins se développent. Ils produisent peu à peu de l'humus et créent un environnement propice à la colonisation des chênes verts. De plus, ils fournissent à ces jeunes arbres l'ombre dont ils ont besoin. »

Contrairement aux pins, les chênes ne peuvent disparaître à cause du feu. « Il faudrait que la fréquence des incendies soit telle que toutes les souches d'arbres s'épuisent. C'est impossible en

En France, le feu ne peut pas faire disparaître les chênes

France », affirme Eric Rigolot.

Le feu peut aussi s'en prendre aux végétaux en érodant le sol. Mais, pour Jean-Louis Hétier, « l'érosion fait partie des phénomènes naturels qui, comme le feu, façonnent le paysage ». Néanmoins, elle est l'ennemi des forestiers. Les sols dénudés par les incendies, surtout s'ils sont de nature marneuse ou sableuse, y sont très ■ ■ ■

sensibles, mais cette fragilité ne dure que dix-huit mois. Ensuite, les plantes basses les plus rapides à s'installer sont assez nombreuses pour stabiliser le terrain.

Pourtant, les forestiers tentent systématiquement de bloquer l'érosion des sols après un incendie. La technique régulièrement mise en œuvre sur les terrains en pente – ce sont les plus vulnérables – consiste à créer des fascines. On étend les troncs d'arbre calcinés perpendiculairement au versant. Ils arrêtent ainsi la fuite de la terre vers le bas de la pente (voir schéma pages précédentes). En principe, on effectue ce travail en même temps que la coupe et le ramassage des bois morts.

Cette politique est parfois contestée. Aux Etats-Unis, les professionnels de la forêt laissent les arbres morts en l'état, afin de ne pas altérer l'évolution naturelle du milieu. Les branches et les troncs morts constituent en effet un habitat pour certains insectes et contribuent au recyclage de la matière organique. En France, en revanche, le nettoyage des forêts brûlées est une priorité depuis près de dix ans. Si les crédits de gestion des espaces incendiés sont en diminution, le budget alloué pour la disparition du bois brûlé est systématiquement renouvelé.

Aux Etats-Unis, la lutte contre l'érosion est contestée

A Marseille, le coût du nettoyage de l'espace incendié est estimé à 17 millions de francs. Il faudra enlever près de 400 000 m³ de bois mort pendant près de deux ans. Un quart du bois seulement, le mieux préservé, pourra être commercialisé, ce qui élève notablement le prix de revient de l'opération. Certains spécialistes s'insurgent contre les sommes engagées. « Les élus débloquent immédiatement des crédits afin qu'on retire les arbres brûlés. Mais l'intérêt de cette pratique est bien maigre, en regard des millions dépensés », estime Jean-Louis Hétier.

Au-delà du danger que représentent les éventuelles chutes d'arbres fragilisés, l'argument qu'invoquent le plus souvent les forestiers est celui de l'invasion des forêts par les insectes ravageurs, notamment les coléoptères scolytes. « Il n'y a aucun danger, réplique Jean-Louis Hétier. Les parasites qui pourraient s'attaquer au bois mort ne sont pas les mêmes que ceux qui ravagent les arbres vivants. Les forêts saines ne risquent donc pas d'être envahies. » Le seul enjeu serait-il une fois de plus l'apparence de la forêt ?

Certains professionnels cherchent à donner davantage d'importance à l'aspect écologique. Cette année, les forestiers d'Aix-en-Provence ont convaincu les élus d'attendre avant de reboiser artificiellement la chaîne de l'Etoile. « Dans de nombreux cas, la végétation repousse toute seule, confirme Jacques Amar. Nous allons pouvoir observer sa régénération naturelle pendant deux ans, avant de décider où et comment replanter. »

Les reboisements serviront d'abord à embellir la forêt. Les forestiers plantent plutôt des feuillus que des résineux, pour leur aspect "moins austère" et leur moindre inflammabilité. « Pour replanter, nous choisissons des îlots de dissémination à partir desquels les arbres sont censés se régénérer », précise Jacques Amar.

Mais, pour certains scientifiques, ces reboisements, certes modérés par rapport aux reboisements intensifs des années 70 et 80, sont encore superflus. « Les plantations ne se justifient vraiment que sur les exploitations sylvicoles, estime Louis Trabaud. L'entretien de la forêt est tellement



DR

L'armure du chêne-liège

Le chêne-liège est l'un des arbres les mieux protégés contre le feu, notamment grâce à son écorce très épaisse qui l'isole de la chaleur. Ci-dessus, huit mois après l'incendie, ce chêne-liège a déjà reverdi.

plus efficace et meilleur marché que les plantations. Par ailleurs, les plantations "post-incendie" concernent forcément des zones à risque. Dès lors, quel intérêt de planter dans une région qui peut brûler chaque année ? » Selon le chercheur du CNRS, même les reboisements de diverses essences, destinés à diversifier le milieu ou à accroître sa résistance au feu, sont inutiles, car les espèces d'origine finissent toujours par se réinstaller.

Mais, la priorité des forestiers a toujours été d'étendre la forêt. En règle générale, plus ils en ont les moyens, plus ils replantent. « Parfois, nous pensons faire mieux que la nature, dit Jean-Louis Calvet, technicien du service régional de la forêt et du bois de Languedoc-Roussillon. Mais la nature reboise des surfaces bien plus importantes que celles replantées par l'homme. »

Aussi de nombreux spécialistes pensent-ils que l'entretien de la forêt est préférable au reboisement. Plusieurs techniques permettent d'optimiser, après l'incendie, la repousse des végétaux détruits. Le recépage des chênes verts, par exemple, consiste à couper les troncs calcinés au-dessus de la souche encore vivante, afin de faciliter leur régénération par rejet. De même, la taille des chênes-lièges brûlés leur garantit une meilleure reprise par les branches. On les recèpe aussi parfois pour augmenter leurs chances de survie.

La végétation fait de la résistance



DR

DR



DR

Les conifères et les feuillus des forêts méditerranéennes survivent au passage du feu. Ainsi, deux ans après, le rejet de souche du buis ❶ est déjà vigoureux, comme celui du chêne vert, de l'arbousier et de la bruyère à balai ❷. Treize ans après l'incendie, la nouvelle génération de pins a atteint la maturité ❸. C'est pourquoi les scientifiques conseillent le plus souvent de laisser les zones incendiées se régénérer seules.

UN ENNEMI QUI N'EN EST PAS RÉELLEMENT UN

Les élus et les forestiers ont longtemps entonné le même leitmotiv : « Le feu ne passera pas. » Aujourd'hui, tous s'accordent à dire qu'il est impossible de le faire disparaître. Il s'agit plutôt de limiter son ampleur et sa fréquence. En outre, la majorité des scientifiques sont convaincus que c'est le feu qui maintient la forêt méditerranéenne en l'état.

Sans les incendies, une forêt dense et relativement pauvre en espèces aurait envahi tous les milieux, anéantissant pelouses, garrigues et maquis. Or, ces espaces composent l'espace naturel méditerranéen et préservent de nombreuses espèces végétales et animales inféodées aux milieux ouverts. ■

MÉDECINE

La course aux nouveaux VACCINS

Face à l'apparition de nouvelles maladies et à la recrudescence de fléaux qu'on croyait vaincus, toute la stratégie de la vaccination est remise en question. Car les vaccins ne sont pas infaillibles. Plusieurs équipes de chercheurs explorent des pistes de très haute technologie.

PAR PHILIPPE CHAMBON

Louise, 11 ans, souffre d'une toux persistante qui évolue rapidement en quintes caractéristiques de la coqueluche, douloureuses, accompagnées de vomissements et de courts arrêts respiratoires. Bien qu'elle soit dûment vaccinée, la fillette est affaiblie par près de deux mois de maladie. Le vaccin ne l'aurait-il pas protégée de l'épidémie qui sévit dans sa classe ? C'est malheureusement son cas, comme c'est celui des quelque 15 % d'enfants pour qui le vaccin n'est d'aucune efficacité.

Le nouveau vaccin contre la coqueluche que viennent de mettre au point les laboratoires SmithKline Beecham résoudra-t-il le problème ? Il n'offre pas une meilleure protection, mais permet de faire un rappel chez les adolescents, ce que les effets secondaires de l'ancienne formulation interdisaient.

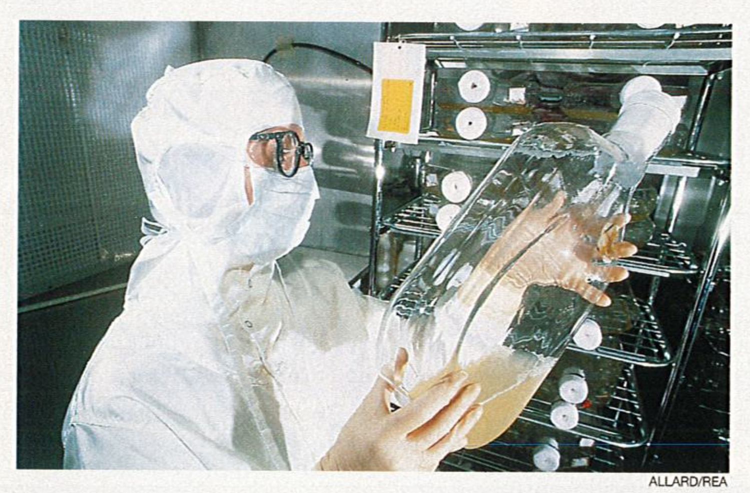
La coqueluche n'est pas un cas isolé. Hormis de rares exceptions, comme les vaccins antipoliomyélite injectables, antitétanos et anti-*Hæmophilus influenzæ b* (méningite), presque efficaces à 100 %, les vaccins ne sont pas infaillibles. Par exemple, la protection est d'environ 90 % contre la rougeole et l'hépatite B, et peut descendre à 60 % contre la typhoïde. Au palmarès des vaccins, le BCG arrive bon dernier : son efficacité peut être nulle chez l'adulte. Cependant, il est réputé protecteur, à 80 %, contre les formes graves de tuberculose chez l'enfant.

On est même en droit de se demander si certains vaccins sont réellement responsables de la régression des maladies contre lesquelles ils sont censés protéger. Ainsi, la baisse du taux de mortalité par rougeole en France a pré- ■ ■ ■

Les billes de l'avenir

Les microsphères, minuscules particules formées d'un polymère biodégradable, semblent être le vecteur vaccinal idéal. Administrées par voie orale, faciles à conserver, elles ont peu d'effets secondaires.

B. BARAS/UNIV. CATHO DE LOUVAIN; W. WICK/PIX


ALLARD/REA

Industrie "lourde"

28 milliards de dollars sont consacrés au traitement des maladies infectieuses. L'industrie du vaccin génère un chiffre d'affaires de 4,5 milliards de dollars.

■ ■ ■ cédé de cinquante ans l'apparition du vaccin. Il peut toutefois prévenir des épidémies locales, et certains chercheurs prétendent qu'il éradiquera la maladie.

La recherche se trouve aujourd'hui en état d'urgence

La mortalité par tuberculose a également chuté, grâce à l'amélioration des conditions de vie et d'hygiène à la fin du XIX[e] siècle. Baisse régulière, que l'apparition du BCG, en 1922, ne semble pas avoir affectée. C'est seulement après la découverte d'antibiotiques efficaces – streptomycine et isoniazide (Rimifon), dans les années 40 et 50 – que la maladie a régressé de manière vertigineuse. Les spécialistes en arrivent à affirmer que la seule raison d'être du BCG est de protéger les jeunes enfants dans les pays pauvres. Le même phénomène s'observe pour la diphtérie, de façon peut-être encore plus spectaculaire (voir courbes, pp. 116-117).

Même s'il est parfois difficile de faire la part de l'amélioration des conditions de vie et celle de l'efficacité des vaccins dans la régression des maladies infectieuses, ceux-ci demeurent un moyen majeur de protection et souvent assez bon marché.

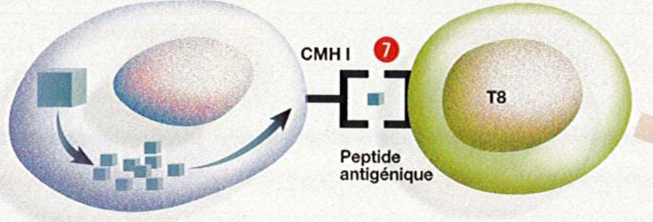
Le principe de la vaccination est connu depuis le XVIII[e] siècle (même si, à l'époque, on ne le formulait pas comme aujourd'hui). Il s'agit d'informer l'organisme des caractéristiques d'un microbe pour qu'il réagisse immédiatement quand il le rencontre dans la nature. Lorsqu'un germe infectieux pénètre dans l'organisme, il est reconnu par le système immunitaire, qui déclenche deux types de réponse.

La première, la réponse cellulaire, consiste à envoyer contre le virus ou la bactérie intracellulaire des globules blancs – lymphocytes cytotoxiques, macrophages, éosinophiles, etc. – chargés de l'éliminer ou de détruire les cellules dans lesquelles il se cache. La seconde, la réponse humorale, cherche à bloquer les bactéries ou les parasites extra-

La réponse immunitaire

Des cellules immunitaires spécialisées s'emparent du germe (1). Elles le découpent en peptides qu'elles présentent à des globules blancs, les lymphocytes T4, grâce à un "présentoir" moléculaire, le CMH II (2).
Cela engendre deux types de réponses (3) :
– TH 1 : les T4 informent les lymphocytes B qui prolifèrent et se transforment en plasmocytes producteurs d'anticorps spécifiques de l'antigène (4).
– TH 2 : les T4 activent les macrophages qui phagocytent le germe infectieux ou les cellules infectées (5).
Ils suscitent aussi l'activité des lymphocytes cytotoxiques (CTL) qui détruisent les cellules infectées (6).
Les autres cellules de l'organisme peuvent aussi fragmenter les protéines antigéniques. Elles utilisent alors un autre "présentoir", le CMH I (7). Ce message est détecté par les lymphocytes T8 qui prolifèrent et se transforment en CTL (8) capables de détruire les cellules infectées.

1
Lymphocyte T4
CMH II
2
Peptide antigénique
Cellule immunitaire présentatrice de l'antigène



cellulaires en libérant dans la circulation sanguine des anticorps, protéines qui viennent se fixer à la surface de l'envahisseur pour le neutraliser ou le rendre repérable par les cellules destructrices. Ces deux types de réponse se complètent pour éliminer les agents pathogènes (voir schéma ci-dessous).

Quand le germe est très virulent, et si le système immunitaire réagit lentement ou trop peu, l'infection se propage. Le vaccin peut prévenir cette situation en introduisant un germe vivant atténué, non infectieux, ou tué, dont le système immunitaire prend connaissance. Il cherche à l'écarter et garde en mémoire ses caractéristiques. Plus tard, si le germe sauvage se présente, il est immédiatement reconnu. La réponse immunitaire d'un sujet vacciné est donc plus rapide et assez intense pour enrayer l'infection. Les rappels de vaccination renforcent ensuite la mémoire immunitaire.

Scénario idéal qui n'est pas toujours respecté, car l'extraordinaire complexité des organismes vivants interdit le contrôle de tous les paramètres. De plus, certains vaccins ne stimulent qu'une réponse humorale, alors qu'une réponse cellulaire est souvent nécessaire.

La sentinelle

La fonction d'une cellule dendritique (ci-contre) est d'alerter le système immunitaire lors d'une infection en présentant l'antigène aux lymphocytes T. Elle fragmente la protéine antigénique en peptides qu'elle exhibe à sa surface sur des supports moléculaires appelés complexe majeur d'histocompatibilité (CMH, visible en vert sur cette image en microscopie de fluorescence).

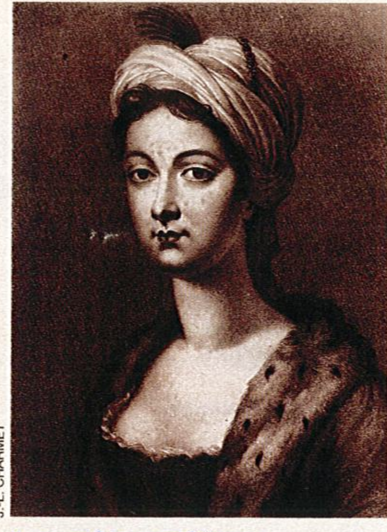
J. DAVOUST

S. DESSERT

La recherche se trouve aujourd'hui en état d'urgence : elle doit à la fois améliorer les vaccins existants et faire face à l'apparition de nouveaux germes – le virus du sida (VIH) en est le meilleur (ou le pire) exemple – et à l'extension de maladies telles que le paludisme ou la tuberculose, contre lesquelles les traitements classiques sont de moins en moins efficaces.

Les vaccins ne sont pas des médicaments comme les autres, puisqu'ils sont administrés à des personnes en bonne santé. Or, comme tout médicament, ils ne sont pas dépourvus d'effets secondaires, qu'il n'est pas toujours aisé de mettre en lumière – ainsi qu'on le voit pour les vaccins contre l'hépatite B, dont on se demande parfois (sans que rien soit prouvé) s'ils ne sont pas à l'origine de troubles neurologiques heureusement fort rares (voir *Science & Vie* n° 967, p. 80).

Il n'est pas non plus facile de mesurer l'efficacité d'un vaccin. Aujourd'hui, ■ ■ ■


J.-L. CHARMET

La pionnière de la variolisation

En 1715, Lady Mary Wortley Montagu, épouse de l'ambassadeur anglais en Turquie, applique à son fils une vieille pratique populaire ottomane : la variolisation. Elle lui inocule du pus variolique desséché pour le protéger de la maladie. Puis elle renouvelle l'opération sur sa fille en 1721. Son geste attire l'attention du corps médical. Soixante-quinze ans plus tard, Edward Jenner systématisera le principe de la vaccination.

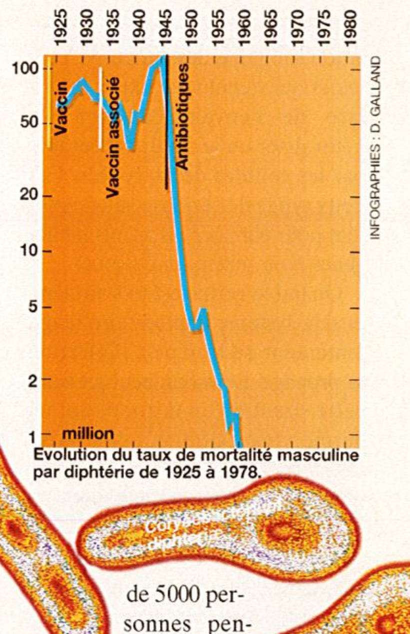
■ ■ ■ nul n'oserait entreprendre une expérience comme celle d'Edward Jenner. En 1796, ce médecin anglais inocule dans la peau d'un paysan du pus de vache souffrant de la variole bovine, maladie bénigne pour l'homme. Un mois plus tard, Jenner vérifie que son cobaye est immunisé, cette fois en lui inoculant du pus variolique humain.

Si, comme le signale l'historien Mirko Grmek (1) l'expérience de Jenner ne fait que reprendre un geste dont l'origine se perd dans les traditions populaires européennes, arabes ou chinoises, son impact sur la médecine est tel que Jenner apparaît comme l'inventeur de la vaccination. Visionnaire, il prévoyait qu'on éradiquerait complètement la variole, ce qui fut fait en 1980, grâce à la vaccination, à la surveillance des épidémies et à l'isolement des malades.

La protection vaccinale contre une infection humaine par un virus d'origine animale reste d'actualité : cette année, vont apparaître des vaccins qui utilisent des chimères de virus simien-humain et bovin-humain tout aussi vivants que le virus de la vaccine de Jenner. Ils sont destinés à protéger contre les rotavirus, responsables de la mort par déshydratation de près de 600000 enfants par an.

Pour vérifier l'efficacité d'un vaccin, il faut d'abord procéder à des essais poussés sur l'animal, puis sur quelques volontaires humains. En cas de succès, on passe à l'observation épidémiologique de larges populations recrutées pour les essais vaccinaux. Pour se faire une idée de l'efficacité du produit, pas question d'inoculer le germe virulent aux personnes vaccinées. Il faut donc comparer l'incidence de la maladie chez les vaccinés et chez les non-vaccinés. Ce qui prend de cinq à dix ans.

L'évaluation peut s'appuyer sur la mesure du taux d'anticorps suscités par le vaccin, mais cette méthode ne garantit pas toujours la protection. Ainsi, Pasteur-Mérieux-Connaught a dû suivre plus de 5000 personnes pendant cinq ans pour s'assurer de l'intérêt de son nouveau vaccin contre la coqueluche.



Evolution du taux de mortalité masculine par diphtérie de 1925 à 1978.

INFOGRAPHIES : D. GALLAND

A. PASIEKA/SPL COSMOS

Logiquement, ce sont les germes entiers vivants qui provoquent la meilleure réponse immunitaire, car ils fournissent au système immunitaire l'ensemble des antigènes (2) qui les caractérisent. Malheureusement, on ne trouve pas toujours l'équivalent animal inoffensif d'un microbe humain, comme on le trouva pour la variole. Il faut donc souvent atténuer la virulence du germe humain pour vacciner sans provo-

(1) Dans *l'Aventure de la vaccination*, ouvrage collectif sous la direction d'Anne-Marie Moulin, Fayard, coll. "Penser la médecine".

(2) On appelle antigène toute molécule capable d'être reconnue par le système immunitaire et de provoquer une réponse de ce système.

UNE ASSOCIATION CONTRE LES HÉPATITES

Les laboratoires SmithKline Beecham proposent un vaccin combiné contre les hépatites B et A. Pour Alain Fish, du Centre national des vaccinations, à Villeneuve-Saint-Georges (Val-de-Marne), c'est un piège, car près de la moitié de la population est immunisée contre l'hépatite A sans le savoir.

Il a donc conçu un test simple et économique, le Digispot, pour connaître le taux d'anticorps contre l'hépatite A. On dépose une goutte de sang sur un support, on l'envoie au laboratoire et le résultat arrive bientôt par la poste. Coût de l'opération : 126 F, au lieu de 440 pour le vaccin et son rappel. L'association hépatites B et A est donc inutile chez l'adulte, mais certainement rentable pour le fabricant.

Impact contesté

En France, la tuberculose (à dr., en bas) et la diphtérie (à g.) ont régressé bien avant l'apparition du BCG et du vaccin antidiphtérique. Les antibiotiques et l'amélioration des conditions de vie et d'hygiène ont eu raison de ces maladies (on peut voir leur progression lors de la Seconde Guerre mondiale). Cependant, la quasi-disparition de la poliomyélite (à dr.) est directement liée à la vaccination.

Evolution du taux de mortalité masculine par poliomyélite de 1925 à 1978.

Poliovirus

Evolution du taux de mortalité masculine par tuberculose de 1925 à 1978.

Mycobacterium tuberculosis

DR KARI LOUNATMAA/SPL COSMOS

quer la maladie. L'opération consiste à le cultiver dans un milieu plus ou moins mutagène. C'est ainsi qu'Albert Calmette et Camille Guérin créèrent le BCG, en 1921. Ils obtinrent le bacille vaccinant après l'avoir cultivé dans de la bile de bœuf.

TUBERCULOSE : 3 MILLIONS DE MORTS PAR AN

Le résultat, on l'a vu, est décevant, essentiellement parce que les mutations accumulées par la souche atténuée suppriment des antigènes dont le système immunitaire aurait besoin pour mieux reconnaître la souche sauvage. La situation est d'autant plus dramatique que la tuberculose est en pleine recrudescence – elle cause 3 millions de morts par an – et que le bacille résiste de plus en plus souvent aux traitements antibiotiques.

Seule la sélection génétiquement contrôlée permettra d'obtenir des souches vivantes non virulentes mais fortement immunogènes. Relativement aisée avec des virus dont le génome ne compte que quelques centaines de milliers d'éléments, cette démarche devient très ardue quand on s'attaque à des bactéries au génome formé de plusieurs millions d'éléments.

C'est encore pire avec les mycobactéries telles que le bacille de Koch, car ces microbes se reproduisent très lentement et la sélection des générations de mutants prend de longs mois. En outre, il reste encore à déterminer précisément les gènes à muter pour supprimer la virulence sans toucher aux antigènes vaccinants. Ce qui devrait aller assez vite, maintenant qu'on connaît l'intégralité du génome du bacille.

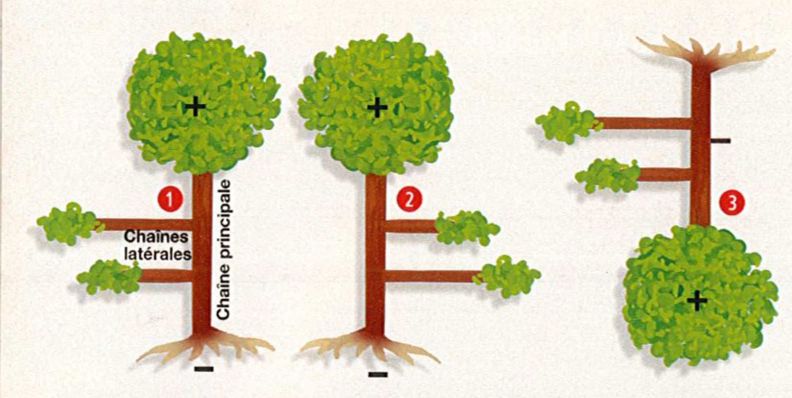
De cinq à dix ans pour vérifier l'efficacité d'un vaccin

A l'Institut Pasteur de Paris, Brigitte Gicquel et ses collaborateurs ont entrepris ce travail de mutagenèse dirigée et pensent avoir obtenu deux mutants prometteurs. « Mais, dit-elle, avant de remplacer le BCG, ce qui risque de prendre beaucoup de temps, on peut espérer mettre au point une sorte de rappel pour les adultes. »

Il semble en effet que les molécules qui surnagent à la surface des milieux de culture du bacille de Koch soient capables d'immuniser les souris. Pas mieux que le BCG, mais assez pour rafraîchir l'immunité des adultes. Cette voie de recherche pourrait aboutir rapidement puisqu'il ne serait pas nécessaire d'injecter un germe vivant.

Voilà bien le rêve du vaccinologue : se débarrasser du germe vivant qui présente toujours le risque de retrouver sa virulence ou de rendre malades les patients immunodéprimés. On préfère donc les ■ ■ ■

A.B. DOWSETT/SPL COSMOS



S. DESSERT

Antigène en trompe-l'œil

Vacciner avec des fragments d'antigène présente de nombreux avantages. Ces fragments sont des peptides formés d'une chaîne principale d'acides aminés (le tronc de l'arbre) et de chaînes latérales (les branches) ❶. Seules les chaînes latérales et leur disposition sont reconnues par le système immunitaire. Ces peptides sont très vulnérables : leur chaîne principale peut être détruite par les enzymes de l'organisme. Pour l'éviter, les chimistes "inversent" le peptide ❷, changent sa polarité tout en maintenant la disposition des chaînes latérales ❸. Baptisées peptides "retro-inverso", ces molécules sont à la fois immunogènes et indestructibles.

■ ■ ■ préparations à base de germes tués, comme le vaccin injectable contre la poliomyélite. Plus sûrs encore, les extraits de microbes, comme le récent vaccin acellulaire contre la coqueluche, qui ne contient que trois antigènes de la bactérie *Bordetella pertussis* : sa toxine détoxifiée, une molécule d'adhésion aux cellules de l'hôte et une protéine de la paroi. Ses effets secondaires sont bien moindres que ceux de l'ancienne version, qui contenait le germe entier.

Pour certains microbes, l'immunisation requiert parfois un seul antigène. C'est le cas du vaccin antitétanique composé de la toxine détoxifiée du bacille de Nicolaier. Les anticorps neutralisent la toxine sauvage, puis le système immunitaire se charge d'éliminer le bacille. Avec les virus, c'est une autre affaire. Ils sont souvent difficiles, voire impossibles, à cultiver *in vitro*. Ce qui interdit d'en extraire un antigène.

Dans le cas de l'hépatite B, par exemple, on a donc dû identifier le gène de l'antigène pour l'introduire dans une levure, qui, elle, se cultive aisément dans un fermenteur. Une fois extrait et purifié, cet antigène, dit "recombinant", entre dans la composition du vaccin. La même technique pourrait s'appliquer à l'hépatite C, mais on ne connaît pas encore les antigènes vaccinants du virus.

Efficace contre des virus très stables, cette stratégie demeure sans effet contre le VIH. Son extraordinaire pouvoir de mutation rend très ardue l'identification d'un antigène commun à plusieurs souches de virus. De plus, les malades ont beau produire d'impressionnantes quantités d'anticorps, ils n'en succombent pas moins des suites de l'infection. Pire, certains chercheurs avancent l'hypothèse selon laquelle ce virus désoriente le système immunitaire, de telle sorte que sa réponse est inadaptée. Les vaccins actuellement testés n'apportent donc qu'un très faible espoir.

Dans le souci de susciter une immunisation très spécifique et

Molécule de présentation de l'antigène (CMH)

LES COMBINAISONS GAGNANTES

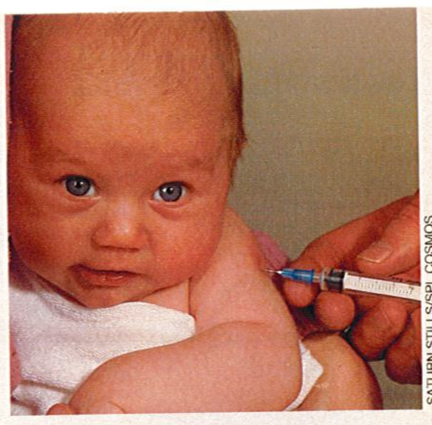
On connaît depuis peu les vaccins pentavalents, qui immunisent d'un seul coup contre cinq infections, la diphtérie, le tétanos, la coqueluche, la poliomyélite et *Hæmophilus influenzæ b*. On devrait bientôt voir apparaître le vaccin hexavalent, qui immunise contre les cinq précédentes infections et contre l'hépatite B. Au-delà de ce nombre, il semble difficile d'obtenir une bonne protection contre toutes les maladies à la fois : le système immunitaire serait débordé par l'apport soudain d'un trop grand nombre d'antigènes distincts.

LA BONNE CONJUGAISON

Plusieurs vaccins, dont ceux contre le méningocoque ou le pneumocoque, utilisent comme antigènes vaccinants des polyosides, c'est-à-dire des sucres, qui constituent une partie de l'enveloppe des microbes. Mais ces vaccins conviennent mal à une prévention à grande échelle et n'immunisent pas les enfants, qui sont la première cible de ces maladies.

Pourquoi ? « C'est une question de maturité du système immunitaire, explique Pierre Saliou, directeur médical de Pasteur-Mérieux-Connaught. Les polyosides stimulent les lymphocytes B; or, chez l'enfant, ces globules blancs ne sont pas prêts à entendre ce message. »

Les immunologistes ont donc songé à "coller" sur les polyosides des antigènes antitétaniques ou antidiphtériques. Ces derniers n'ont rien à voir avec le germe contre lequel on cherche à vacciner, mais ils activent des lymphocytes dits auxiliaires, qui, à leur tour, activent les lymphocytes B. Dans ces conditions, le système immunitaire des enfants de moins de 2 ans peut acquérir une réponse immunitaire adaptée.


SATURN STILLS/SPL COSMOS

Le premier vaccin ainsi "conjugué" vient d'être commercialisé. Il est dirigé contre *Hæmophilus influenzæ b*, virus de maladies respiratoires et de méningites de l'enfant. Des essais sont très avancés contre le pneumocoque et le méningocoque. La conjugaison pose cependant un problème : elle peut entraîner l'immunisation contre l'antigène de conjugaison. Si elle se produit, une vaccination ultérieure contre cet antigène – le tétanos par exemple – risque de provoquer une douloureuse hyperimmunisation.

d'éviter la mise en culture toujours délicate des germes infectieux, les scientifiques cherchent à utiliser les plus petites molécules antigéniques possibles, faciles à synthétiser chimiquement. On injecterait non plus l'antigène entier mais seulement ses parties immunogènes, les "épitopes". Malheureusement, ces épitopes sont des peptides, c'est-à-dire de courtes chaînes d'acides aminés que l'organisme dégrade facilement. Jusqu'à présent, les résultats n'ont pas été convaincants.

La situation va-t-elle se débloquer à la suite des travaux d'un laboratoire du CNRS à Strasbourg dirigé par Marc Van Regenmortel ? Cette équipe a eu l'idée de synthétiser des peptides que les enzymes ne peuvent pas détruire mais que le système immunitaire peut reconnaître (voir schéma, p. 118). Des essais contre la fièvre jaune chez la souris ont montré l'intérêt de cette nouvelle stratégie.

Une stratégie sans effet contre le virus du sida

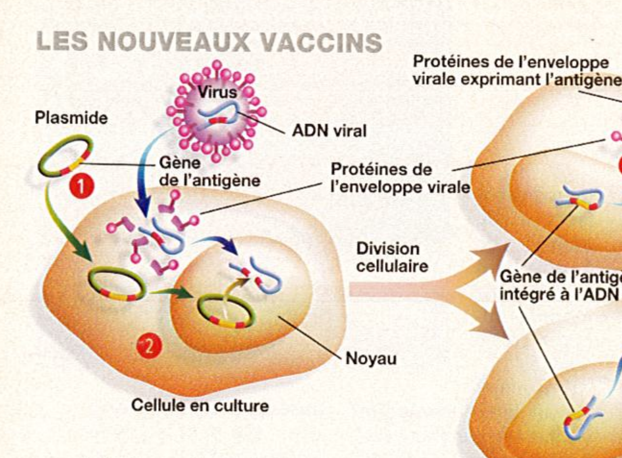
Sélectionner les bons antigènes est évidement nécessaire, mais pas suffisant. Il faut que le système immunitaire les reconnaisse clairement et qu'il en garde la mémoire au cas où surviendrait le germe virulent. La question ne se pose pas avec les germes atténués, mais, quand on utilise des antigènes seuls ou des fragments peptidiques d'antigènes, un vecteur adapté s'impose.

On intègre donc les gènes des antigènes dans des micro-organismes inoffensifs qui les porteront à leur surface. Ces vecteurs "recombinants" peuvent être des bactéries ou des virus (voir schéma, p. 120). Par exemple, Gilles Riveau, chercheur du CNRS à l'Institut Pasteur ■ ■ ■

Peptide antigénique

Le présentoir de l'antigène

Représentation graphique d'un peptide antigénique du virus de la stomatite vésiculaire fixé sur une molécule de présentation de l'antigène (CMH) de cellule infectée.



Virus manipulé

Plusieurs vaccins à l'essai utilisent un virus inoffensif comme vecteur de l'antigène vaccinant. Sur un plasmide (petite boucle d'ADN), on place le gène de l'antigène encadré de deux gènes du virus vecteur ❶. On infecte ensuite une culture de cellules avec ce plasmide et le virus ❷. Lors de la division cellulaire, le génome du virus est normalement dupliqué, mais la présence de deux gènes viraux sur le plasmide favorise l'intégration du gène de l'antigène dans le génome viral ❸. Le virus se reconstitue, mais il comporte maintenant les protéines antigéniques vaccinantes. On extrait alors de la culture de cellules ce virus "recombinant" ❹ qui servira de vaccin.

ILLUSTRATIONS : S. DESSERT

■ ■ ■ de Lille, a choisi de mener l'expérience avec des salmonelles de la typhoïde des souris – en collaboration avec une équipe de l'université de Newcastle (Grande-Bretagne).

Les chercheurs ont atténué les germes et leur ont fait exprimer le gène d'un fragment inoffensif de la toxine tétanique et celui d'une protéine du parasite responsable de la bilharziose. Administrées par voie orale, ces salmonelles recombinantes ont immunisé des souris contre les trois maladies, en une seule prise.

Remarquable, mais les scientifiques ne peuvent encore garantir l'innocuité des organismes génétiquement modifiés. Il faudrait s'assurer qu'ils ne muteront pas au cours de leur passage dans l'organisme. C'est pourquoi les deux seuls vecteurs recombinants vivants mis à l'essai chez l'homme sont le virus de la variole aviaire (canary-pox virus) et le virus de la vaccine. Le canary-pox est manipulé de façon à exprimer un antigène du virus du sida. Il présente l'avantage de ne pas se reproduire chez l'homme. Ou, plus exactement, sa réplication entraîne sa mort.

Mais alors, comme le rappelle Claude Leclerc, de l'Institut Pasteur, « ce germe ne persiste pas assez longtemps chez l'hôte pour maintenir une bonne mémoire immunitaire ». Et si, par accident, il venait à s'y reproduire, c'est qu'il aurait franchi la barrière d'espèce et

Vaccination avec de l'ADN nu, sans support biologique

ILS SONT A L'ESSAI

	GERME (MALADIE)	COMPOSITION
Contre des bactéries	Shigella (dysenterie)	germe atténué par mutagenèse dirigée
	Vibrion du choléra	idem
	Spirochète (maladie de Lyme)	antigènes recombinants
	A plus long terme : staphylocoque, bacille pyocianique (septicémies nosocomiales)	divers
Contre des virus	Rotavirus (diarrhées de l'enfant)	virus atténués
	Arbovirus de la dengue (fièvres hémorragiques)	idem
	Cytomégalovirus (fièvre, mononucléose)	antigènes recombinants
	Virus respiratoire syncytial (pathologies respiratoires de l'enfant)	idem
	VIH (sida)	divers, dont antigène sur vecteur recombinant et ADN nu
Contre les parasites	Bilharzie (bilharziose)	les antigènes efficaces sont encore mal identifiés
	Psalmodium falciparum (paludisme)	idem. Travaux sur ADN nu

risquerait de devenir pathogène. Le virus de la vaccine, lui, est réputé inoffensif et des essai de recombinaison avec les antigène de la rage sont en cours, mais la réponse qu'il provoque est aussi bien dirigée contre l'antigène vaccinant que contre ceux du virus recombiné lui-même. Conséquence : non seulement l'immunisation est peu spécifique, mais, lors du rappel, le vecteur est immédiatement anéanti.

De nombreux scientifiques estiment qu'une alternative passionnante est apparue en 1993 grâce aux premiers essais de vaccination des souris avec de l'ADN nu, sans support biologique (voir *Science & Vie* n° 933, p. 66). Ici, on n'injecte plus ni germe vivant ni antigène, mais on implante le gène de la protéine vaccinante, au cœur de cellules de la peau ou de cellules musculaires. Celles-ci le prennent pour l'un de leurs propres gènes et synthétisent la protéine correspondante, qui se retrouve ainsi à leur surface, nettement reconnaissable par le système immunitaire.

Chez la souris, les essais sont prometteurs. L'intérêt est d'autant plus grand que l'ADN nu entraîne une réponse de type cellulaire qui semble seule à même de protéger contre des virus du type VIH. Avec cette limite : on évalue encore assez mal les risques de perturbation du fonctionnement des cellules receveuses. Des anticorps anti-ADN risquent aussi de réduire l'efficacité de ce procédé.

LES BIENFAITEURS DE L'IMMUNITÉ

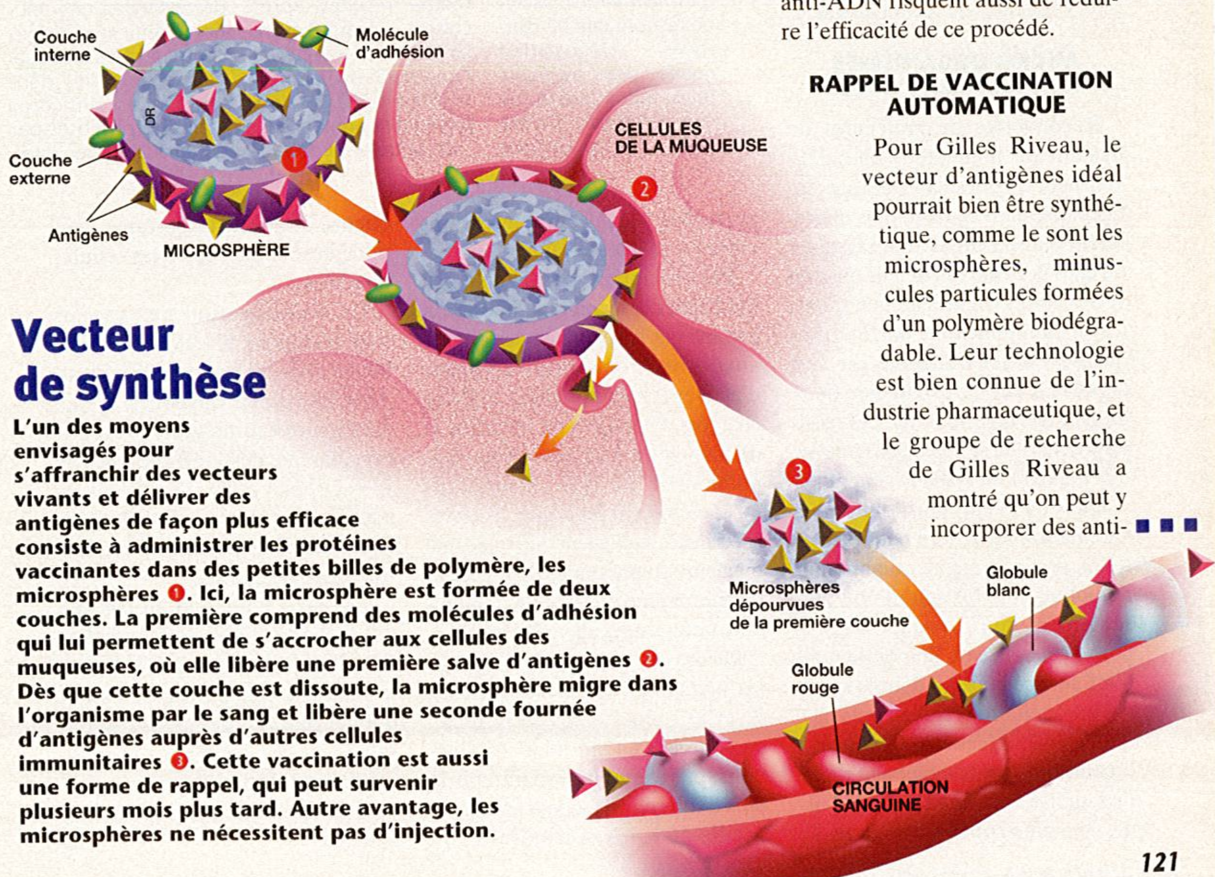
Les vaccins "moléculaires", à base de fragments de germes, contiennent un adjuvant qui stimule le système immunitaire. Le seul actuellement autorisé est le sel d'alumine appelé alun. Sous forme de gel, il absorbe les antigènes et forme un dépôt, ce qui prolonge la présence de l'antigène, donc renforce la mémoire immunitaire.

De plus, en créant une petite inflammation, l'adjuvant excite l'intérêt des cellules immunitaires. D'autres substances sont à l'étude, notamment des dérivés synthétiques de la paroi des mycobactéries, les muramyldipeptides, et des dérivés de la saponine extraits de l'arbre *Quillaia saponaria*. On cherche aussi à utiliser des protéines de la leishmania, le protozoaire de la leishmaniose. Ces substances sont-elles plus efficaces que les sels d'alun ? Il est encore trop tôt pour le dire.

Le muramyldipeptide retient particulièrement l'attention, car il aurait des propriétés immunostimulantes globales qui aideraient le système immunitaire à réagir plus promptement à n'importe quelle infection. Une sorte de dopant général de l'immunité.

RAPPEL DE VACCINATION AUTOMATIQUE

Pour Gilles Riveau, le vecteur d'antigènes idéal pourrait bien être synthétique, comme le sont les microsphères, minuscules particules formées d'un polymère biodégradable. Leur technologie est bien connue de l'industrie pharmaceutique, et le groupe de recherche de Gilles Riveau a montré qu'on peut y incorporer des anti- ■ ■ ■



Vecteur de synthèse

L'un des moyens envisagés pour s'affranchir des vecteurs vivants et délivrer des antigènes de façon plus efficace consiste à administrer les protéines vaccinantes dans des petites billes de polymère, les microsphères ❶. Ici, la microsphère est formée de deux couches. La première comprend des molécules d'adhésion qui lui permettent de s'accrocher aux cellules des muqueuses, où elle libère une première salve d'antigènes ❷. Dès que cette couche est dissoute, la microsphère migre dans l'organisme par le sang et libère une seconde fournée d'antigènes auprès d'autres cellules immunitaires ❸. Cette vaccination est aussi une forme de rappel, qui peut survenir plusieurs mois plus tard. Autre avantage, les microsphères ne nécessitent pas d'injection.

■ ■ ■ gènes et des adjuvants vaccinaux (voir encadré).

Ces microsphères cumulent un nombre impressionnant d'avantages : elles sont administrées par voie orale ou nasale, elles n'ont pas besoin d'être conservées au froid et dispensent du rappel de vaccination. En effet, Gilles Riveau se passionne pour des microsphères qui contiendraient deux couches, la première libérant ses antigènes en fondant rapidement, la seconde apportant le rappel plusieurs mois plus tard. Les mêmes microsphères voyageraient dans l'organisme pour soumettre l'antigène à plusieurs systèmes de reconnaissance.

Une limite : le prix de revient des vaccins high-tech

MICRO-ORGANISMES TERRIBLEMENT RUSÉS

Recouvertes de molécules de fixation aux muqueuses, elles délivreraient d'abord leur message antigénique dans ce tissu, puis migreraient dans la circulation sanguine où elles poursuivraient leur mission vers d'autres cellules immunitaires. Cette immunisation par les muqueuses est très séduisante, car c'est la porte d'entrée privilégiée de la plupart des microbes. Or, ces tissus disposent d'un système immunitaire indépendant du système général.

Dans un avenir plus lointain, la vaccination deviendra peut-être ce qu'on pourrait appeler de l'immunomodulation. Il s'agirait non plus seulement de provoquer une réponse cellulaire ou humorale mais d'influer sur la façon dont le système immunitaire réagit en présence d'un germe infectieux. Ces micro-organismes sont terriblement rusés. Dès qu'ils pénètrent dans l'organisme, les plus roués s'efforcent de perturber les communications entre les cellules immunitaires.

Par exemple, le bacille de Koch fait baisser la sécrétion d'interféron gamma par les lymphocytes dits "T auxiliaires", ce qui les empêche d'activer les macrophages, cellules chargées de phagocyter les intrus et de montrer à d'autres cellules immunitaires le type d'anticorps qu'elles doivent fabriquer. Tous les spécialistes soulignent que seule une meilleure connaissance du fonctionnement intime du système immunitaire permettra d'aller plus loin.

Quand on sera capable d'agir sur les interactions complexes entre les diverses composantes du système, on cherchera à moduler ses réactions, par exemple, à maintenir le taux d'interféron gamma lorsque le bacille de Koch se manifeste, ou encore à mobiliser certains lymphocytes tueurs contre les cellules infectées.

La sophistication des vaccins high-tech pose cependant un problème majeur : leur prix de revient. Avec les vaccins classiques, la vaccination restait un geste préventif bon marché, destiné à protéger de vastes populations, même dans les pays les plus pauvres. Ce n'est plus le cas des derniers-nés de l'industrie pharmaceutique.

En outre, il ne faudrait pas que des vaccins contre des maladies telles que le choléra ou la tuberculose, même très efficaces, fassent oublier que les premières responsables de ces épidémies sont les conditions déplorables dans lesquelles survivent des populations entières. ■

LA VACCINATION PAR LES PLANTES



Du tabac transgénique (ici, prélèvement de la capsule d'un grain de tabac) pour combattre les caries dentaires.

P. PLAILLY/EURELIOS

Des volontaires ont mangé de la pomme de terre crue transgénique qui produit un antigène d'*Escherichia coli*, bactérie responsable de diarrhées. Dégustation certes peu agréable mais qui a provoqué chez la plupart d'entre eux une importante production d'anticorps. Cela suffira-t-il à immuniser contre la bactérie? Obtiendra-t-on le même résultat après cuisson? L'équipe qui a conduit ces travaux, à l'université de Baltimore (Etats-Unis), ne s'est pas encore prononcée.

Un autre essai de vaccination par les plantes, mené au Guys Hospital de Londres, a consisté à appliquer sur les dents de volontaires une solution d'anticorps dirigés contre le streptocoque, germe de caries dentaires. Ces anticorps étaient synthétisés par du tabac transgénique.

Complétez votre collection de SCIENCE & VIE HORS SÉRIE.



SCIENCE & VIE HORS SÉRIE

Tous les trois mois, LES HORS SERIE de SCIENCE & VIE traitent de façon exhaustive un grand sujet de notre temps. Chaque HORS SERIE fait le tour complet d'une question d'actualité scientifique.

N° 177 - Le cerveau et l'intelligence
N° 178 - Néolithique
N° 179 - Dossier SIDA
N° 180 - Science à l'école
N° 181 - L'explosion de la génétique humaine
N° 182 - Les aliments et la santé
N° 183 - Aviation 93
N° 184 - Les secrets du vivant
N° 185 - Le sommeil
N° 186 - La lumière
N° 187 - Le corps humain
N° 188 - L'adolescence
N° 189 - Le big bang
N° 190 - Les 9 premiers mois de la vie
N° 191 - Aviation 95
N° 192 - Pierre-Gilles de Gennes
N° 193 - Attention Virus
N° 194 - Où va la Défense Française
N° 195 - A quoi sert le cerveau ?
N° 196 - Les nouvelles planètes
N° 197 - Pharaons
N° 198 - Les grandes énigmes de la science
N° 199 - Aviation 97
N° 200 - L'homme
N° 201 - Les chefs-d'œuvre du génie humain
N° 202 - Les grandes expéditions scientifiques

CHOISISSEZ ET COMMANDEZ VOS NUMÉROS

SCIENCE & VIE

Photo non contractuelle

BON DE COMMANDE

A remplir et à retourner sous pli affranchi avec votre règlement à SCIENCE & VIE - VPC
1, rue du Colonel Pierre Avia - 75503 Paris Cedex 15

AVIATION 1997

LE DOSSIER COMPLET DES NOUVELLES PLANÈTES

❑ **OUI** je commande les numéros suivants de SCIENCE & VIE HORS SÉRIE*:

N° ___________________________

soit [ ] numéros à 25 francs franco l'un (étranger : 33 francs)

❑ **OUI** je commande [ ] reliures* SCIENCE & VIE au prix de 95 francs

Je joins mon règlement total de [ ] francs à l'ordre de SCIENCE & VIE

Nom
Prénom
Adresse

Code postal
Ville

Etranger: mandat international ou chèque compensable à Paris
* Délai de livraison 4 à 6 semaines, et dans la limite des stocks disponibles.

Pour protéger et consulter facilement vos numéros, rangez-les dans de superbes reliures. De couleur bordeaux, marquée SCIENCE & VIE, chaque reliure permet de classer 12 mensuels.

Etes-vous déjà abonné (e) à SCIENCE & VIE :

Oui ❑ Non ❑

Si oui, merci d'indiquer votre N° d'abonné _______________

Conformément à la loi Informatique et Libertés du 06/01/1978, vous disposez d'un droit d'accès aux données personnelles vous concernant. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres sociétés ou associations. Si vous ne le souhaitez pas, il vous suffit de nous écrire en nous indiquant vos nom, prénom, adresse et, si possible, votre référence client.

OFFRES VALABLES JUSQU'À FIN 1998 ET RÉSERVÉES À LA FRANCE METROPOLITAINE.

H.C.S. Paris B 5/2 134/73

GAGARINE

La mort d'un héros

■ Youri Gagarine, premier homme à être allé dans l'espace, est mort il y a trente ans dans un banal accident d'avion. Pour expliquer le drame, on a avancé les hypothèses les plus incongrues. En fait, il révèle surtout les impérities du système militaro-industriel soviétique.

PAR GERMAIN CHAMBOST



MOSCOOP/TASS

NOVOSTI

Premier homme à être allé dans l'espace, le 12 avril 1961, le cosmonaute russe Youri Gagarine est mort bêtement en 1968, voilà tout juste trente ans. Il s'est tué en effectuant un banal vol d'entraînement à bord d'un avion-école MiG-15 UTI. Il avait 34 ans. C'était son dernier exercice sous le contrôle d'un instructeur avant son "lâcher", c'est-à-dire



avant de voler seul, sur un MiG-17.

Gagarine tenait à redevenir le pilote d'avion qu'il avait d'abord été et qu'il rêvait toujours d'être, même si cela ne plaisait guère aux autorités politiques et militaires de l'URSS, désireuses de garder dans son cocon l'un des Russes les plus célèbres du XXe siècle. En cette année 1968, on l'avait même pressenti pour le poste de patron de la Cité des étoiles, le centre d'entraînement des cosmonautes soviétiques, dont il était alors chef adjoint.

Du fait même de sa célébrité, sa mort a donné lieu à toutes sortes de supputations plus ou moins fantaisistes. Parmi lesquelles l'état d'ébriété avancé dans lequel il se serait trouvé, ainsi que son moniteur, Vladimir Sérioguine, en ce petit matin fatal du 27 mars 1968. Ou une pure et simple "liquidation", les patrons du Kremlin voulant se débarrasser d'un homme encombrant, dont la gloire universelle ■ ■ ■

Les honneurs de la place Rouge

Youri Gagarine eut droit à des funérailles nationales sur la place Rouge, le 30 mars 1968, avec la pompe réservée aux héros du régime soviétique. On lui érigea une gigantesque effigie à Moscou. Ses cendres, ainsi que celles de son instructeur, Vladimir Sérioguine, reposent dans les murs du Kremlin, à côté de celles de Serguéï Korolev, le constructeur des fusées et des vaisseaux spatiaux.

«Chez nous, les avions ne tombent

■ ■ ■ leur disputait la vedette. Ou bien un suicide. Ou une rencontre avec un ovni. Ou encore un tir de missile. Ou, hypothèse plus banale, une collision avec un oiseau de grande taille.

Cette dernière hypothèse, émise au moment où siégeait la commission d'enquête sur la mort de Gagarine et de Sérioguine, aurait en vérité arrangé beaucoup de monde. Elle était vraisemblable et rendait assez bien compte de la chute du MiG-15, qui volait normalement à une altitude de 4 200 m, avant de s'écraser à peine une minute plus tard. Malheureusement pour les tenants de cette explication commode, on ne retrouva sur les débris de l'avion aucune trace d'une rencontre avec un oiseau. Jusqu'au bout, le MiG-15, avion et moteur, avait continué de fonctionner sans encombre. Il avait percuté le sol en parfait état, pourrait-on dire.

En réalité, les rumeurs tenaient lieu d'informations, et les travaux de la commission d'enquête ne furent jamais rendus publics. Ils mettaient en cause trop de personnages, recensaient trop de faits accusateurs pour les dirigeants du système militaire soviétique, dévoilaient trop de déficiences humaines et techniques. Or, dans l'URSS de 1968, tout devait être parfait, ne pouvait être que parfait. Comme le disaient alors ironiquement les Soviétiques, « chez nous, les avions ne tombent jamais ».

LES 29 VOLUMES DE LA COMMISSION D'ENQUÊTE

Ce n'est que tout récemment, grâce à l'ouverture des archives de l'ex-URSS, qu'on a commencé à y voir plus clair. Un homme, un vieil homme, Serguéï Biélotserkovski, ancien directeur d'études de Gagarine à l'Académie de l'air Joukovski – où le futur cosmonaute avait suivi les cours d'officier-pilote – a repris les vingt-neuf volumes de la commission d'enquête, dont il avait fait partie en son temps. Et il a publié article sur article, livre sur livre, pour réfuter les hypothèses les plus absurdes et aboutir à la conclusion qui s'impose : Gagarine a été la victime, une de plus, des impérities du système soviétique. Conclusion fort bien explicitée dans l'ouvrage d'Yves Gauthier, *Gagarine, ou le rêve russe de l'espace* (Flammarion).

Quand, le 27 mars 1968, Gagarine et Sérioguine décollent à bord de leur biplace MiG-15 de la base aérienne Tchalovski, les conditions météorologiques sont médiocres dans la région au-dessus de laquelle ils doivent évoluer, et elles vont se dégrader rapidement. L'avion-météo chargé d'effectuer des observations dans les zones de travail s'est envolé avec du retard. Il n'a pas encore transmis d'informations fiables. Gagarine et Sérioguine n'auraient donc pas dû prendre l'air. Ils ne disposent que de renseignements imprécis, notamment sur la hauteur des couches de nuages. On leur a indiqué que la couche la plus basse se trouve à 900 m du sol, alors qu'elle n'est qu'à 450 m. Ils gagnent donc leur altitude de travail, à 4 200 m, où ils se trouvent en ciel clair, c'est-à-dire hors des nuages, entre deux couches.

Leur avion est de technologie ancienne. De plus, vu sa très faible réserve interne en carburant, il emporte deux réservoirs supplémentaires de 260 litres, un sous chaque aile. Ce qui le rend instable et limite sa capacité à encaisser les accélérations. Sans réservoir d'appoint, le MiG-15 supporte aisément 8 g, huit fois l'accélération de la pesanteur. Mais, avec des réservoirs sous les ailes, il ne supporte plus que 3 g, ce



NOVOSTI

KEYSTONE

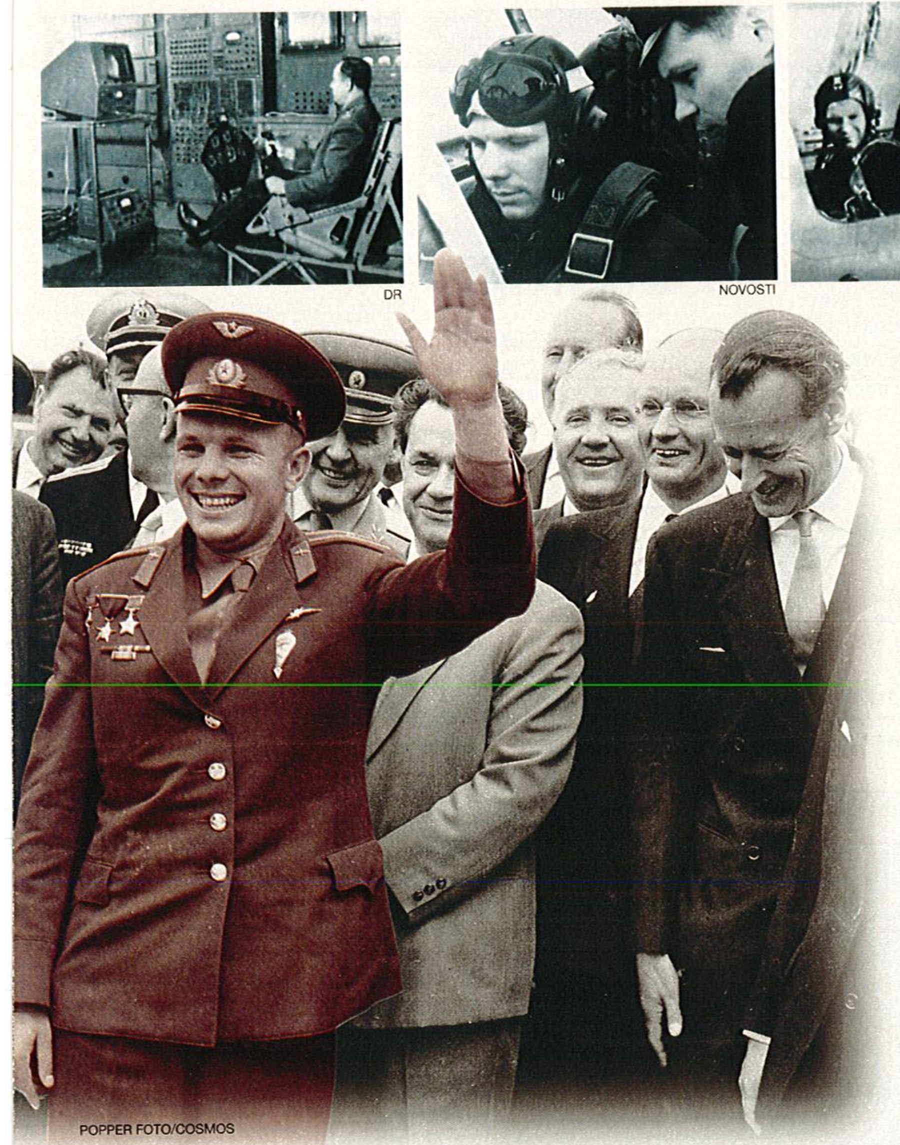


Le cosmonaute n° 1

Premier homme dans l'espace de l'histoire, Youri Gagarine n'a effectué qu'un vol de 108 minutes autour de la Terre. Le régime le confina ensuite dans un rôle de représentation.

KEYSTONE

jamais », disaient les Soviétiques



DR NOVOSTI DR

POPPER FOTO/COSMOS

Pilote : sa passion

Lassé des "tournées" de prestige, pressenti pour prendre la direction de la Cité des étoiles, Youri Gagarine s'entraînait pour redevenir pilote, son premier métier.

qui réduit considérablement son aptitude à se sortir d'une situation délicate, par exemple à éviter la collision avec un autre appareil en effectuant un virage très serré.

CONCLUSION : LE MIG-15 EST BIEN PARTI EN VRILLE

Plus grave : selon Serguéï Biélotserkovski, le comportement en vrille du MiG-15 équipé de réservoirs sous les ailes n'a jamais été étudié lors des essais en vol. On ne sait donc pas si, dans cette configuration, l'appareil est capable de se sortir d'une vrille, lorsqu'il tourne sur lui-même comme une toupie sous un fort angle de piqué. On ne sait pas non plus si même un pilote très expérimenté (ce qui est le cas du moniteur Vladimir Sérioguine, ancien pilote de combat de la Seconde Guerre mondiale, qui totalise plus de quatre mille heures de vol) est à même de redresser un MiG-15 en vrille.

Or, après avoir réexaminé l'ensemble des données de l'enquête à la lumière des progrès accomplis depuis l'accident en matière d'aérodynamique et de simulation sur ordinateur, Biélotserkovski conclut que le MiG-15 est bien parti en vrille. Ce mouvement de rotation de l'avion autour de son axe longitudinal, sous un fort angle de piqué, est en général consécutif à la perte de contrôle de l'appareil. Soit que le pilote la provoque lui-même, pour s'entraîner justement à se sortir d'une pareille situation. Soit qu'il la subisse – et c'est sans doute ce qui est arrivé à Gagarine et à Sérioguine.

Leur avion évoluait dans une zone où régnait le plus parfait ■ ■ ■

La caméra qui filmait les écrans

■ ■ ■ désordre. Des MiG-21, qui avaient décollé peu après le MiG-15, le rattrapèrent dans les nuages. Parti d'une base voisine, un autre MiG-15 effectuait aussi une séance d'entraînement à proximité, entre 2 et 10 km de l'avion de Gagarine. Un Sukhoï Su-11 se trouvait également dans les parages, sans que les contrôleurs radar au sol sachent au juste ce qu'il y faisait. A tel point que le contrôleur chargé du suivi des vols confondra le Su-11 et le MiG-15 pendant une douzaine de minutes après l'accident...

D'ailleurs, la caméra censée filmer en permanence les écrans radar, afin de reconstituer après coup le déroulement d'un incident éventuel, cette caméra était en panne. On ne conserve donc aucune trace de ce qui s'est passé dans le ciel le 27 mars 1968.

IL ANNONCE CALMEMENT QU'IL RENTRE À LA BASE

Tout ce qu'on sait, c'est qu'après avoir effectué à altitude constante deux virages de 360°, deux cercles complets, l'un par la droite, l'autre par la gauche, Gagarine annonce d'une voix calme qu'il rentre à la base. La séance d'entraînement dans la zone, qui devait durer vingt minutes, est interrompue après seulement quatre minutes. Pourquoi ? Sans doute, estime Biélotserkovski, parce que le moniteur de Gagarine juge que les conditions météorologiques sont en train de se dégrader, ou bien ne sont pas du tout conformes aux prévisions, ou encore parce que décidément la zone est bien trop encombrée pour qu'on puisse y travailler. Rien d'anormal ici : tous les instructeurs, civils ou militaires, ont eu à prendre, un jour ou l'autre, une telle décision. Quoi qu'il en soit, une minute plus tard, le MiG-15 s'écrase...

Il se "crashe" sous un fort angle de piqué, à une très forte accélération (environ 10 g), sous un angle d'attaque (1) de l'ordre de 20°, soit au-delà de l'angle dit de décrochage, où la portance n'équilibre plus le poids de, ce qui caractérise la perte de contrôle de l'avion. Mais la trajectoire est stabilisée, les ailes sont horizontales. Le pilote a commencé à sortir de la vrille, il est en train de reprendre le contrôle de l'appareil, il lui faudrait simplement encore un peu d'altitude pour y parvenir tout à fait. Selon la reconstitution de la trajectoire effectuée par la suite, il aura manqué 150 m au MiG-15, presque rien.

Mais Sérioguine devait être confiant : l'analyse de sang faite après l'accident ne montre aucune élévation de son taux d'adrénaline. Pourquoi ne s'inquié-

(1) Angle entre le vecteur vitesse de l'avion et l'aile.

DR

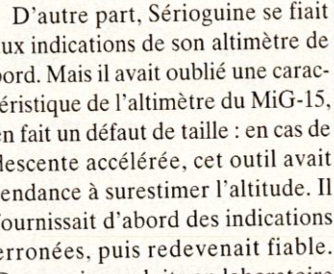
Son ancien maître refait l'enquête

Serguéï Biélotserkovski (à droite), ancien professeur de Gagarine à l'Académie de l'air Joukovski, reprit l'enquête à zéro pour faire la lumière sur les véritables causes de l'accident du MiG-15 UTI.

NOVOSTI



radar était en panne



tait-il pas ? Parce qu'il était persuadé que la couche de nuages dont il venait de jaillir en piqué se trouvait à 900 m au-dessus du sol, ainsi qu'on le lui avait signalé avant le départ. Or, la couche se situait à seulement 450 m du sol…

D'autre part, Sérioguine se fiait aux indications de son altimètre de bord. Mais il avait oublié une caractéristique de l'altimètre du MiG-15, en fait un défaut de taille : en cas de descente accélérée, cet outil avait tendance à surestimer l'altitude. Il fournissait d'abord des indications erronées, puis redevenait fiable. Des essais conduits en laboratoire au cours des années 90 ont montré que, sur un MiG-15 biplace, l'inertie de l'altimètre peut atteindre de 300 à 400 m. Ecart énorme, propre à induire les pilotes en erreur : ils croyaient leur altitude beaucoup plus élevée qu'elle ne l'était réellement.

C'est sans doute ce qui explique pourquoi les deux hommes n'ont pas actionné leur siège éjectable. Ils devaient se croire capables de reprendre le contrôle du MiG-15 et de rentrer sans dommages à la base. Du moins pendant la première partie de la vrille… Ensuite, le temps leur a manqué. Sur un MiG-15 biplace, la séquence d'éjection imposait que l'instructeur quitte l'appareil le premier. On peut imaginer que Sérioguine, soudain conscient de la proximité du sol, a donné l'ordre à Gagarine de s'éjecter et que le cosmonaute a rappelé à l'instructeur que c'est lui qui devait s'éjecter d'abord… Quelques précieuses secondes ont dû ainsi être perdues. Perdues à jamais.

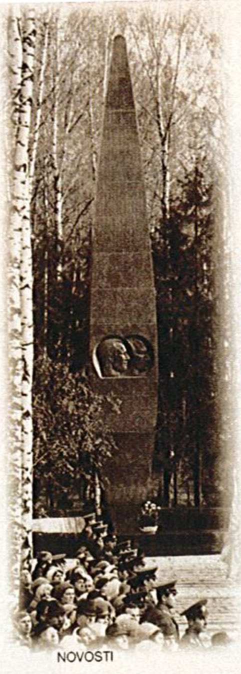
Seule l'hypothèse de la vrille permet d'expliquer l'enchaînement qui a conduit à la catastrophe, Elle a d'ailleurs été corroborée par les observations effectuées sur les débris du MiG-15 – qui n'était pas équipé d'une "boîte noire", cet enregistreur de paramètres qui aurait évidemment facilité l'enquête. Mais pourquoi l'appareil s'est-il mis en vrille ?

Selon Serguéï Biélotserkovski, la perte de contrôle a pu être provoquée par la manœuvre brutale de l'un des deux pilotes, par exemple pour éviter la collision avec l'un des appareils qui se trouvaient dans la zone de travail, entre des couches de nuages, donc par mauvaise visibilité.

UNE AVALANCHE DE NÉGLIGENCES…

L'ancien professeur de l'Académie de l'air Joukovski suppose encore que le MiG-15, alourdi par le carburant qu'il emportait sous ses ailes, ce qui le rendait instable, a pu être pris dans la traînée de sillage d'un autre appareil, tourbillon qui l'aurait fait basculer latéralement et partir en vrille. Des avions militaires ou civils ont souvent été victimes de semblables circonstances.

Pour Biélotserkovski, la mort de Gagarine n'est donc en rien mystérieuse : elle découle d'une avalanche de négligences humaines et techniques. Mais, à l'époque, en 1968, les dirigeants soviétiques ne pouvaient reconnaître que le premier cosmonaute du monde avait péri pour des raisons si dérisoires et si condamnables… ■

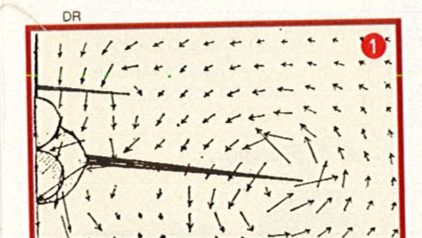


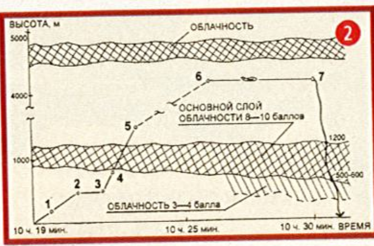
NOVOSTI

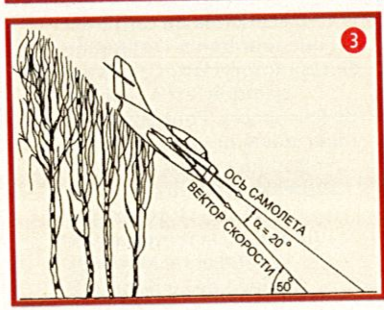
La mémoire des héros

Un mémorial s'élève dans la forêt, à 3 km de Novoselovo, dans les environs de Moscou, sur les lieux où périrent Gagarine et Sérioguine.

DR







Il leur a manqué deux secondes…

Les études de Biélotserkovski sur les tourbillons en bout d'aile ❶, sur la trajectoire de l'avion entre les couches nuageuses ❷ et sur la chute finale ❸ montrèrent que le MiG-15 s'était mis en vrille en passant dans le sillage d'un autre avion. Il aurait pu se redresser si Gagarine et Sérioguine avaient eu deux secondes de plus.

Il y a 50 ans

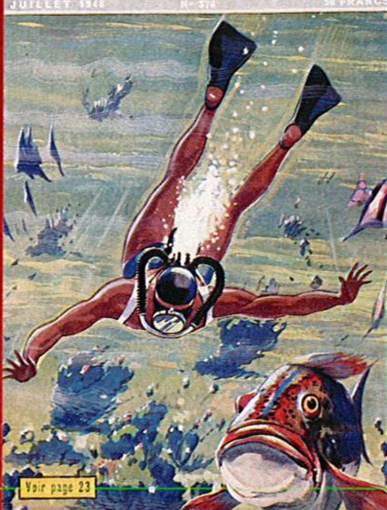
par Véronique Rochewsky

Le champ magnétique des taches solaires

Cette photographie a été obtenue au spectrohéliographe en n'utilisant que la lumière de l'hydrogène. Elle met en évidence les mouvements, en sens inverses, des tourbillons de matière solaire ionisée autour des deux taches solaires.

Vins vieux artificiels

L'action oxydante des rayons infrarouges accélère les réactions biochimiques qui transforment le goût acerbe des vins jeunes en subtils arômes. Monté sur une remorque, l'appareil "Infravin" traite les vins à l'infrarouge directement dans les chais.



Juillet 1948

Grâce à l'ingéniosité de quelques sportifs désireux d'aller chasser toujours plus profond, des scaphandres simples et légers ont été mis au point pour permettre au nageur, libre de ses mouvements, d'explorer à loisir le monde sous-marin. Le cinéaste, le naturaliste et l'archéologue s'en serviront bientôt.

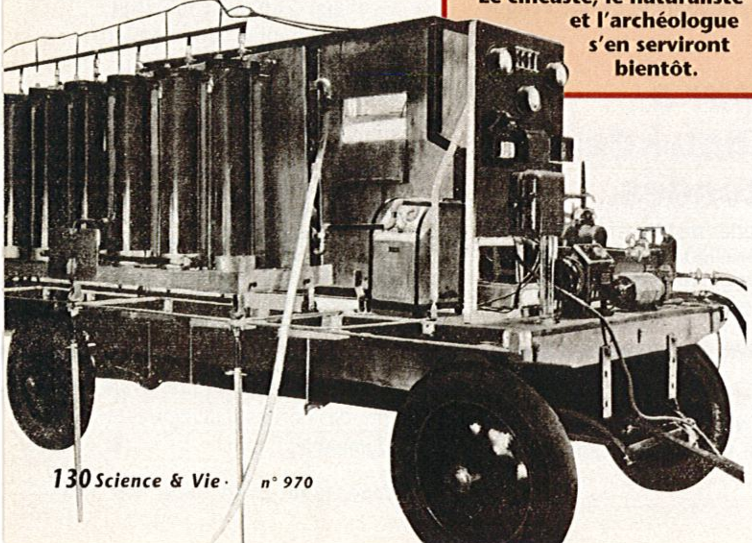
Travelling optique

Monté sur une caméra, l'objectif Zoomar à focale variable permet d'effectuer un travelling sans avoir à déplacer l'appareil. La variation de focale, avec conservation de la mise au point, est obtenue par déplacement, en un seul bloc, d'une série de lentilles par rapport aux autres lentilles qui demeurent fixes.



L'essor du vélomoteur 125 cm^3

L'économie de carburant que représente l'utilisation de ces motocyclettes de petite cylindrée est à l'origine de leur succès. Pour améliorer leur tenue de route, le cadre élastique, c'est-à-dire avec suspension intégrale arrière et avant, se généralise. Ci-dessus, la motocyclette italienne Marinella équipée de ce dispositif.



http://www.sncf.fr

Coupe Du Monde 98

-25%*

pour tous avec les prix Découverte

(*) Sauf Découverte J8. Tarifs soumis à conditions. Renseignez-vous dans les gares et les agences de voyages. (**) Offre TER+navette et tarifs : il existera des particularités selon les différentes villes des matches. Renseignements sur 3615 TER (1.01F/min. (***) 2.23 F/min.

La SNCF, supporter des supporters pour la Coupe du Monde de Football 1998.

Des réductions avec les prix Découverte (*), mais aussi un tarif spécial en Ile-de-France (jusqu'à 60% de réduction), 2 nouvelles gares RER pour se rendre au Stade de France, davantage de TGV pour rentrer dès la fin des matches. En partenariat avec les Conseils Régionaux, la SNCF met également à votre disposition plus de TER à des prix avantageux ; dès l'arrivée en gare, des navettes urbaines vous emmèneront jusqu'aux stades (**).

Ne perdez pas un instant et réservez dès maintenant votre place dans les trains Grandes Lignes en appelant Ligne Directe, 7 jours sur 7 de 7h00 à 22h00, au 08 36 35 35 35 (***) et appelez le 01 53 90 20 20 pour l'Ile-de-France. Maintenant, à vous de jouer !





À NOUS DE VOUS FAIRE PRÉFÉRER LE TRAIN.



La géométrie du foot

S. KEMPINAIRE/VANDYSTADT

Comment rendre le football plus attrayant, plus fertile en buts? On dit parfois qu'il suffirait d'élargir la "cage". En réalité, c'est tout le jeu qui s'en trouverait modifié, car ce sport repose sur une géométrie très précise.

PAR RENAUD DE LA TAILLE

Il n'existe de compétition sportive que codifiée et normalisée dans ses moindres détails, faute de quoi il n'y a pas de rencontre équitable possible. Mais, du coup, le jeu se trouve figé dans ses règles d'origine et ne peut guère évoluer. Il en va ainsi de tous les sports établis depuis longtemps, en particulier du football, comme nous l'a fait remarquer, à propos de la Coupe du monde, un lecteur, M. Pierre Borgomano, instituteur passionné de foot et de maths.

Le "Mondial" constitue un événement télévisé de première importance, et celui qui regarde les matchs dans son salon s'intéresse avant tout aux buts. Or, il est fréquent qu'il y ait un score nul (0-0) au bout des deux mi-temps de 45 minutes, et le score standard oscille entre 1-1 et 2-1 (il y a eu en moyenne 2,35 buts par match au cours du dernier championnat de France de première division).

De là l'idée, souvent avancée, d'élargir les buts afin de susciter davantage d'actions victorieuses : le spectacle y gagnerait en intensité. L'ennui de cette formule, dit notre lecteur, c'est que si on élargit les buts, il faut modifier tout le terrain pour respecter à la fois la lettre et l'esprit de ce sport, qui a été codifié sous sa forme actuelle vers 1863.

M. Borgomano, qui anime des ateliers pédagogiques destinés à

L'équilibre des proportions

Né en Angleterre, codifié vers 1863, le football se joue sur un terrain mesuré en pieds et en yards. Or 1 pied = un tiers de yard, et les rapports un tiers ou deux tiers fixent les cotes principales du tracé. Ainsi, LM = un tiers de LR ; ZP = deux tiers de ZW ; AB = deux tiers de AE. On notera en outre que Y, N et J sont alignés, et que YUJG est un carré. Elargir les buts obligerait donc à redessiner tout le terrain pour conserver ces relations simples.

A G

éveiller l'intérêt des élèves aux mathématiques, considère le terrain avant tout sous l'angle géométrique. Notons d'abord que les dimensions du terrain sont non pas fixes mais bornées entre deux limites : la longueur doit être comprise entre 100 et 130 yards (le football est né en Angleterre), la largeur entre 50 et 100 yards. Le yard vaut 3 pieds (de 12 pouces chacun), le pouce étant égal à 25,4 mm. Le pied (foot) vaut donc 30,48 cm et le yard 91,44 cm.

Pour la Coupe du monde, on a retenu la moyenne arithmétique des deux limites : longueur (100 + 130)/2 yards, soit 105,16 m; largeur (50 + 100)/2 yards, soit 68,58 m. Relevons tout de suite que le rectangle ainsi délimité est, en gros, dans les proportions “deux tiers, un tiers” (2 x 105 est proche de 3 x 69). Or, nous avons vu que le pied est le tiers du yard, ce qui explique peut-être que cette partition en trois se retrouve souvent dans la géométrie du terrain.

Si longueur et largeur sont libres dans certaines limites, en revanche, toutes les autres dimensions sont fixes, quelle que soit la taille retenue pour le rectangle. Le but, ou plutôt la cage comme disent les amateurs : toujours 8 pieds de haut pour 24 de large, soit un rapport d'un tiers (2,44 m de haut, 7,32 m de large). La surface de but, elle, mesure 20 yards sur 6 (18,3 m sur 5,5 m).

CHANGER LES RÈGLES DU JEU : UNE GRAVE HÉRÉSIE

Le rond central reprend ces 20 yards comme diamètre, tout comme l'arc de cercle pour le coup de pied de réparation, qui est tracé devant la surface de réparation (40,32 x 16,5 m). Le centre de cet arc n'est autre que le point de penalty, là où on pose également le ballon lors des tirs au but. Ce point est situé à 11 m de la ligne de but, donc aux deux tiers de la largeur de la surface de réparation (11 = 16,5 x 2/3).

Notons encore, comme on peut le voir sur notre dessin, que deux coins des surfaces de but et de réparation sont alignés avec un montant du but – coins et montant étant évidemment d'un même côté du terrain. Tous ces choix n'ont pas été faits au hasard, mais se sont dégagés peu à peu de manière empirique lorsqu'il a fallu fixer distances et proportions pour que le jeu soit aussi équilibré que possible.

Mais ces dispositions, et les règles du jeu, font qu'il est très difficile de marquer un but, à tel point que le score 0-0 n'est pas rare. D'où l'idée d'élargir les buts afin de faciliter la tâche des attaquants.

Seul ennui : modifier la largeur des buts, c'est détruire toute l'harmonie géométrique du terrain. En écartant les deux montants, on fait disparaître le rapport d'un tiers entre hauteur et largeur de la cage, à moins bien sûr d'accroître la hauteur en proportion. Mais il faudra quand même élargir la surface de but pour conserver l'alignement des coins et d'un montant, ce qui obligera alors à agrandir en proportion le rond central, et aussi la surface de réparation pour conserver la relation “un tiers” avec la surface de but.

Pour la même raison, on devra déplacer le point de penalty, dont, on l'a vu, la distance à la ligne de but est égale aux deux tiers de la largeur de la surface de réparation… Cette série de modifications en cascade ira jusqu'aux dimensions du terrain lui-même. Certes, il existe bien un moyen d'améliorer les scores sans toucher au terrain : c'est de modifier les règles du jeu. Mais il y a tout lieu de craindre que cela apparaisse aux yeux des puristes du ballon rond comme une hérésie encore plus grave. ■

E D F O T S C
Arc de cercle pour le coup de pied de réparation
J Q U W R I
P Point de penalty
Surface de réparation
V N M
Surface de but
K Y Z X L H B

A. MEYER

Trois nouveaux moyens de se passer de pile

Il y a vingt-cinq ans, l'arrivée des montres à quartz constitua un progrès décisif pour la précision, mais pas pour l'environnement : les piles boutons sont un réel facteur de pollution. Aujourd'hui, on les remplace par des cellules solaires, des alternateurs et même des couples thermoélectriques.

PAR RENAUD DE LA TAILLE

Hormis le cadran solaire, qui donne l'heure sans consommer la moindre énergie, toute horloge a besoin d'une force motrice. A l'origine, ce furent des poids, qu'on remontait chaque jour, puis des ressorts, qu'il fallait aussi retendre régulièrement. Plus tard, vinrent les pendules électriques, qui tiraient leur énergie du réseau EDF ou d'une pile ordinaire.

LES EXPLORATEURS ONT DES MONTRES MÉCANIQUES

Les montres à quartz, qui ne sont rien d'autre que des horloges électriques miniaturisées, sont également tributaires d'une pile. Mais ces piles boutons sont une source de pollution pour l'environnement et nécessitent un cycle compliqué de destruction ou de recyclage. De surcroît, elles cessent de débiter au bout d'un temps plus ou moins long, mais toujours imprévisible, et souvent en un lieu où l'on ne peut les remplacer : en excursion, en randonnée, en balade en mer (c'est pourquoi les explorateurs emportent en général des montres mécaniques).

Dès 1980, on a cherché à s'affranchir de ces contraintes en substituant à la pile une cellule photoélectrique : même par temps couvert ou sous un éclairage artificiel, un centimètre carré de cellule suffit largement à alimenter le mouvement d'une montre à quartz. Comme la superficie de son cadran est de 3 à 5 cm^2, il y a même de l'énergie excédentaire. Le tout est de la stocker pour que la montre continue à fonctionner la nuit.

Or, il est impossible de miniaturiser les accumulateurs classiques (acide sulfurique-plomb, cadmium-nickel ou argent-zinc), et, de toute façon, leur temps de recharge est trop long. Par chance, il existe un autre moyen de stocker l'électricité : le condensateur. Celui-ci est fort simple dans son principe : tout ensemble constitué de deux surfaces conductrices voisines constitue un condensateur capable de conserver les charges électriques et de les restituer si on relie ces deux surfaces, dites armatures, par un conducteur.



A la fois mécanique et électronique

Le rotor, qui oscille à chaque mouvement du bras, était utilisé depuis fort longtemps pour remonter le ressort des montres à balancier. Ici, il sert à faire tourner un micro-alternateur dont le courant va recharger en permanence le condensateur qui alimente le mouvement à quartz. C'est la technique adoptée par Seiko, sur les Kinetic, et par Oméga, sur les Ωmatic.

En ce sens, deux pièces de 5 F séparées de 1 mm forment un condensateur. Le point faible du dispositif, c'est que, les charges électriques étant réparties sur les armatures comme un semis de petites billes sur une plaque, il faut disposer d'immenses surfaces pour obtenir une charge intéressante (l'unité de capacité, le farad, choisie pour être en relation simple avec le volt et l'ampère, est celle d'un condensateur fait de deux carrés en métal de 10 km de côté mis face à face et séparés de 1 mm).

Mettre des surfaces de cette taille dans un boîtier de montre était impensable. L'obstacle fut pourtant surmonté en 1985 par les chercheurs de la firme japonaise Matsushita, grâce à la technique des condensateurs électrolytiques à charbon "micronisé" et membrane semi-perméable. En quoi consiste la micronisation d'un solide ? On part d'un cube de carbone ayant par exemple 1 cm de côté ; sa surface totale vaut six fois celle du carré de base, donc 6 cm^2. Si l'on tranche ce cube en diagonale, la surface totale des deux morceaux passe à près de 9 cm^2. En cassant le cube, on a donc multiplié sa surface par 1,5.

En continuant ainsi la fragmentation, on suit une progression géométrique de raison 1,5, qui grimpe très vite à des niveaux vertigineux : quand le cube de 1 cm a ■ ■ ■

Vieux de plus de 50 ans, le remontage automatique fait son retour

■ ■ ■ été réduit en cubes de 1 µm (1 micromètre), la surface extérieure est passée de 6 cm^2 à 6 m^2. Avec des poudres en suspension colloïdale on descend bien au-dessous du micromètre et le facteur multiplicatif de la surface peut dépasser le million.

Matsushita put ainsi atteindre le tiers de farad dans le volume d'une pile bouton : énorme surface offerte par une poudre de graphite (1 000 m^2), faible distance entre deux particules et transfert à sens unique des ions assuré par la membrane semi-perméable. Grâce à ce condensateur, qui joue le même rôle qu'un accumulateur, la montre "solaire" pouvait devenir réalité : le cadran se composait d'une cellule photoélectrique qui alimentait tout le système. C'est le groupe japonais Hattori-Seiko qui, au début de l'année 1986, lança les premiers modèles sous les marques Pulsar et Lorus.

Aujourd'hui, les solaires sont produites par Pulsar ou Citizen, mais ces montres restent quand même plus à l'aise sous le soleil marocain que dans les brumes nordiques. Aussi, pour tourner la difficulté, Seiko entreprit, il y a quelques années, de remplacer la cellule photoélectrique par un alternateur que font tourner les mouvements du bras. La méthode allait à l'encontre de la tendance générale qui veut que tout système mécanique soit éliminé au profit d'un circuit intégré. Ici, au contraire, la mécanique est venue au secours de l'électronique.

Le remontage automatique des montres à balancier existe depuis plus de cinquante ans. Une masselotte montée sur un axe au milieu du boîtier oscille à chaque mouvement du porteur de la montre : marcher, monter un escalier, prendre une fourchette, allonger le bras, ouvrir une porte, etc. Chaque oscillation est transmise à un train d'engrenages démultiplicateur qui, à son tour, fait doucement pivoter le ressort de marche pour le remonter.

LA LÉVITATION MAGNÉTIQUE ENTRE DANS LE BOÎTIER

Cet ensemble de remontage automatique est parfaitement au point, et c'est lui qu'on va conserver dans les montres à quartz. Mais, au lieu de faire tourner très lentement un ressort, qui oppose beaucoup de résistance, il va faire tourner très vite un alternateur, qui n'en présente presque pas – il suffit de modifier le train d'engrenages. Le courant alternatif débité à chaque oscillation de la masselotte, donc au moindre mouvement du bras, est envoyé dans un circuit redresseur qui le transforme en courant continu, lequel va sans cesse recharger le condensateur.

En pratique, on eut bien sûr quelque difficulté à transformer un mouvement oscillant en courant à peu près stable. Il fallut toute une série d'innovations techniques pour que le système acquière la fiabilité qu'on attend d'une montre bracelet. Ainsi, le rotor de l'alternateur Seiko, qui doit tourner à plus de 15 000 tours par minute pour produire de l'électricité, est-il monté sur un palier à lévitation magnétique : tout problème d'usure est éliminé.

Les premières versions apparurent en 1992 sous le vocable AGS (Automatic Generating System), puis à partir de 1994 sous le nom

Solaire pour plongeurs

Sur les montres Eco-drive de Citizen, le cadran est constitué d'une cellule photoélectrique qui débite du courant dès qu'il y a un peu de lumière. Ce courant entretient la charge d'un accumulateur lithium-ion à forte capacité qui fournit l'énergie nécessaire au circuit électronique du quartz. Résultat : ces montres jouissent d'une autonomie de plusieurs mois.

La chaleur remplace la pile

Sur le prototype de Citizen, c'est la chaleur de la peau qui est convertie en électricité par un anneau de thermopiles placé entre le fond du boîtier, qui est à la température du bras, et la lunette, qui est à la température de l'air ambiant.

de Seiko Kinetic : la précision du quartz sans l'inconvénient des piles, c'était un très réel progrès. L'industrie suisse ne s'y trompa pas. Quelques années plus tard, le groupe SMH commercialisa à son tour des montres basées sur le même principe : Tissot XX et Omega Ωmatic.

Mais, après avoir demandé au Soleil, puis aux mouvements du bras de recharger le condensateur, on sollicita une autre source d'énergie susceptible d'effectuer le même travail : la chaleur du corps. 37 °C, au lieu de 15 °C pour l'air ambiant; donc source chaude et source froide, principe des machines thermiques.

Mais de machine, au sens d'assemblage mécanique, il n'y en pas dans le projet de la firme japonaise Citizen. En revanche, on y trouve un convertisseur statique, en l'occurrence une jonction thermoélectrique faisant appel à l'effet Seebeck. Il s'agit d'un effet thermique du courant, sans doute moins connu que l'effet Joule, qui concerne les jonctions entre conducteurs constitués de divers matériaux, par exemple nickel-fer, cuivre-bismuth, etc.

LA MONTRE AUX 10000 THERMOCOUPLES

En 1826, le physicien allemand Johann Seebeck découvrit que la zone de contact entre métaux différents était le siège de phénomènes électriques particuliers : un écart de température de part et d'autre de la jonction fait apparaître un courant dans le circuit conducteur, dit alors thermocouple, et, inversement, le passage d'un courant entraîne une différence de température entre les deux côtés de la jonction (effet Peltier).

Ces effets sont beaucoup plus marqués avec des semi-conducteurs. En montant en série plusieurs thermocouples, on constitue une thermopile qui donne du courant dès qu'elle est soumise à un écart de température. Celle que les ingénieurs de Citizen ont mis au point pour leur future montre ne compte pas moins de 10000 thermocouples à base de tellure de bismuth ou de combinaisons du tellure avec des métaux lourds. Elle forme un anneau de 2 mm d'épaisseur placé dans le boîtier entre le fond et la lunette qui entoure le verre.

La différence de température entre le fond, en contact avec la peau du poignet, et la lunette, qui est à l'air libre, suffit pour que la thermopile qui entoure le mouvement à quartz fournisse la tension nécessaire à la charge du condensateur. L'innovation est intéressante puisqu'elle n'utilise plus que des composants purement électroniques, mais il est possible qu'on retrouve des problèmes similaires à ceux que posent les solaires : par temps froid ou dans la fraîcheur de la nuit, l'écart de température entre la peau et l'air est appréciable; la thermopile fournira alors assez de courant.

MÊME SOUS LE SOLEIL DES TROPIQUES

Mais, sous la chaleur des tropiques, cet écart devient insignifiant. Il pourra même s'inverser en plein soleil, la lunette devenant plus chaude que la peau, et la thermopile recommencera à débiter du courant, mais cette fois en sens contraire. Il est vrai que le circuit électronique pourra le remettre dans la bonne direction vers le condensateur, et la montre continuera à donner l'heure exacte. Une autre manière de tirer parti de l'environnement tout en le préservant de la pollution… ■

Le Tour de France high-tech

■ **Les coureurs du prochain Tour de France seront équipés d'outils miniaturisés de haute technologie. Pour doser leurs efforts sans mettre leur santé en danger et pour communiquer instantanément.**

PAR HENRI-PIERRE PENEL

Albert Londres, le grand journaliste des années 1920, avait baptisé les coureurs du Tour de France les "forçats de la route". Inconscients de leurs limites, ou ne voulant pas les admettre, ils poussaient parfois leurs efforts à l'extrême. Il en va tout autrement aujourd'hui. Les cyclistes sont devenus des athlètes de "haute précision". Ils ont appris à évaluer leur "pic de puissance", qu'ils ne se risqueront à atteindre qu'au moment crucial de la course.

Le premier champion à avoir pris conscience de l'importance de la gestion de l'énergie musculaire est le Britannique Chris Boardman, de l'équipe Gan. La parfaite connaissance de ses ressources lui permit, le 6 septembre 1996, de battre le record du monde de l'heure en parcourant 56,375 km sur la piste du vélodrome de Manchester.

Pour gérer correctement son "patrimoine puissance", le coureur doit disposer d'informations sur son métabolisme et, avant tout, connaître en permanence son rythme cardiaque. Si des appareils portatifs capables d'indiquer le rythme cardiaque existent depuis plusieurs années, les athlètes les ont longtemps boudés : ils les considéraient comme un gadget. Aujourd'hui, leur utilité est unanimement reconnue.

Les professionnels utilisent le Polar Protrainer XT. Placées sur une ceinture thoracique que le cycliste met sous son maillot, des électrodes captent son rythme cardiaque. Une transmission sans fil achemine cette information vers un système d'affichage miniaturisé, qu'on peut soit porter comme une montre, soit fixer sur le guidon du vélo. De plus, l'appareil mémorise le rythme cardiaque en continu. Après la course, le système communique, à l'aide d'un adaptateur, ces données à un ordinateur qui trace le cardiogramme du coureur durant l'effort.

Comme le précise Roger Legeay, directeur sportif de l'équipe Gan, l'intérêt du Polar est double. A l'entraînement, il permet de déterminer la zone de "bon rendement" du coureur. On s'aperçoit, par exemple, que son rythme cardiaque ne doit pas dépasser 160, voire 180 pulsations par minute. On détermine aussi le temps de récupération nécessaire après un effort intense.

PUISSANCE ET STRATÉGIE

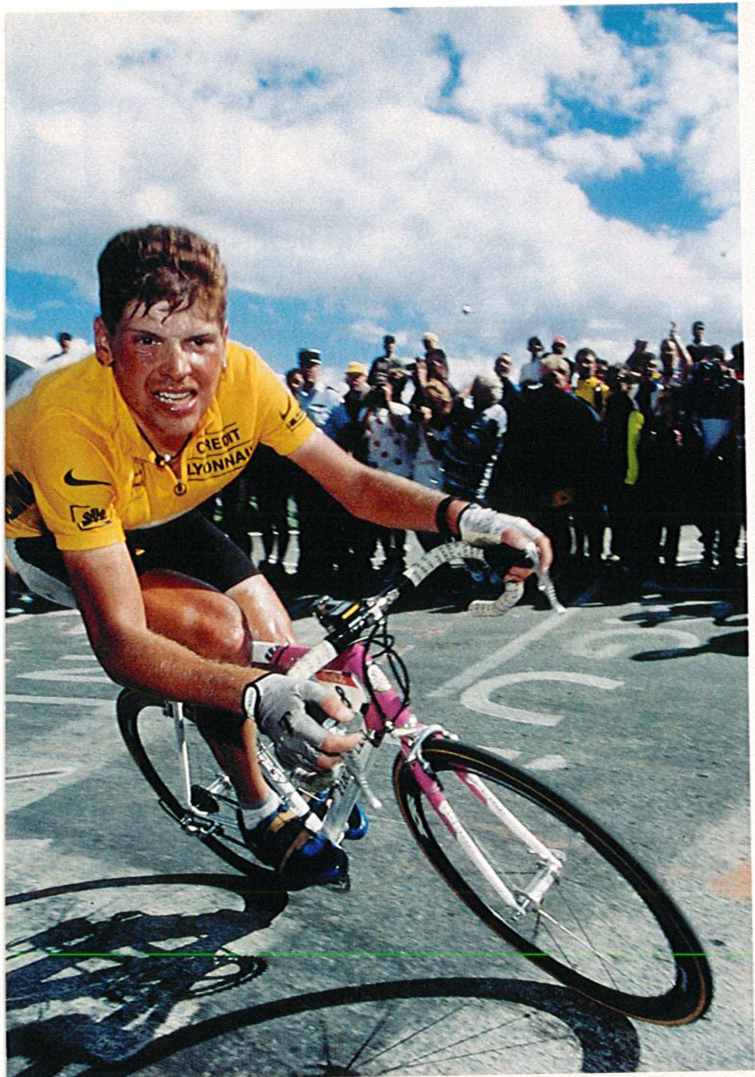
En course, le problème est différent. C'est la compétition qui mène le jeu, et non pas seulement les capacités théoriques du coureur. Mais le Polar lui permet de connaître en permanence l'état de son "capital puissance". « Chaque coureur sait très bien qu'il a une "zone rouge" et que, s'il la dépasse, tout sera fini pour lui », explique Antoine Vayer,



DR

Le "compte-tours" du coureur

Une ceinture thoracique munie d'électrodes transmet par liaison sans fil le rythme cardiaque de l'athlète à un afficheur, qui peut se porter comme un bracelet-montre ou se fixer au guidon.


M. POWELL/VANDYSTADT

La loi du plus fort

L'Allemand Jan Ullrich, vainqueur du Tour de France 1997, bénéficie comme tous les autres leaders des nouvelles technologies. Il n'empêche que c'est toujours le meilleur qui gagne...

entraîneur de Festina, la formation du Français Richard Virenque et du Suisse Alex Zülle, qui a récemment acquis la première place au classement mondial par équipes.

Cependant, choisir le moment où il faut jeter ses dernières forces n'est pas une mince affaire si le coureur ne sait pas comment se déroule la compétition (dont, forcément, il ne peut voir la totalité). Des adversaires dangereux sont-ils engagés dans l'échappée, quel est l'état général du peloton, le leader de l'équipe est-il au mieux de sa forme ? Autant de questions fondamentales pour échafauder la stratégie : il faut pouvoir établir la communication entre les coureurs et le directeur sportif.

Dans le prochain Tour de France, tous les coureurs de Festina seront équipés d'un émetteur-récepteur qui les mettront en relation non seulement avec le directeur sportif, dans la voiture suiveuse, mais aussi entre eux. De plus, afin d'écarter les oreilles indiscrètes, un procédé de codage rendra la transmission incompréhensible aux autres équipes.

Il y a à peine quelques années, seuls les directeurs d'équipe captaient Radio-Tour à bord de leur véhicule. Afin de porter l'information aux coureurs, la voiture devait donc se faufiler au sein du peloton, ce qui mettait en péril sa sécurité. Sans compter que le directeur sportif devait demander l'autorisation de remonter le peloton et justifier d'un prétexte valable. L'acheminement de l'information était donc assez lent. Grâce aux liaisons radio, il est instantané. Le directeur sportif annoncera, par exemple, à ses hommes : « Douze coureurs se sont échappés, mais aucun n'est dangereux, laissez-leur trois minutes d'avance au maximum. »

Tout au long de l'épreuve, le directeur peut aussi informer les champions de la topographie du parcours et de l'état de la route. En outre, dans des compétitions moins importantes et moins bien organisées que le Tour de France, les liaisons radio évitent aux coureurs d'hésiter aux bifurcations si le trajet est mal balisé... ■

DR

Informé à tout instant

Chaque coureur possède un émetteur-récepteur radio miniature qui lui permet de communiquer en permanence avec les autres membres de l'équipe et son directeur sportif.

par Henri-Pierre Penel

Trottinette électrique

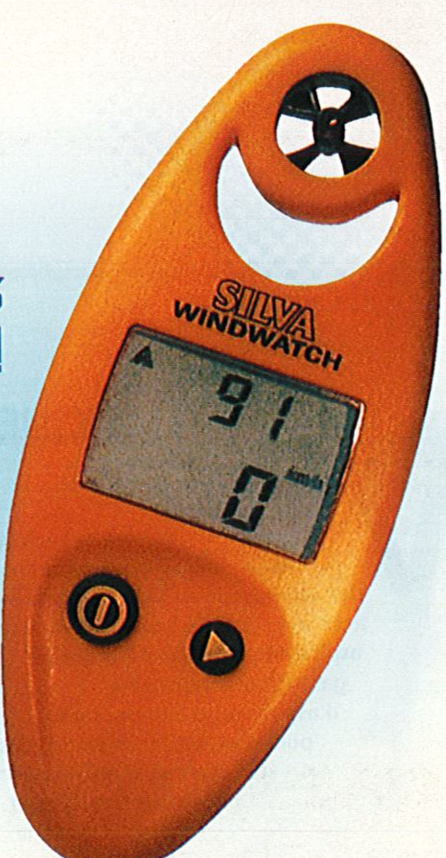
Curieux engin, entre le Solex et le scooter, Troter est un véhicule électrique à la vocation urbaine affirmée. Equipée d'un moteur électrique et de batteries, cette "trottinette" dispose d'une selle, d'un phare, de feux arrière et de freins. Homologué pour l'Europe, Troter est fabriqué par la société Incotex, basée à Besançon. L'engin "file" silencieusement à la vitesse de 22 km/h et son moteur se recharge sur une fiche secteur avec prise de terre. L'autonomie est de 30 km. La recharge complète de la batterie demande de quatre à cinq heures. Troter est pliable, et ses 32 kg se rangent aisément dans un coffre. Il existe en six couleurs : bleu, rouge, jaune, noir, blanc et vert. Prix : 8 599 F.

▶ **Le fabricant propose une assurance spécifique qui coûte 350 F par an.**

Tech

et Jean-Luc Glock

Dans le vent !



Le Windwatch est un petit boîtier étanche en ABS qui permet de mesurer la vitesse du vent. Plaisanciers, véliplanchistes et amateurs de grand air vont pouvoir mesurer la vitesse maximale des coups de vent, la vitesse moyenne et la vitesse instantanée avec une précision de 0,1 m/s. Prix : 749 F.

▶ **Un thermomètre doté d'un double affichage indique en alternance la température et le refroidissement dû au vent.**

LE PLEIN D'ÉNERGIE

Athlon fut l'un des premiers produits à apparaître sur le marché des "boissons de l'effort", en 1982. Aujourd'hui, la marque se renouvelle. Elle a optimisé le dosage en glucides, en vitamines et en minéraux de ses boissons isotoniques millésimées 1998. Le conditionnement a été revu : le fabricant affirme qu'il préserve les vitamines de façon optimale, tout en offrant une meilleure ergonomie. Un nouveau produit voit le jour : une barre conçue pour fournir un apport énergétique rapide et continu lors des efforts prolongés. Prix : de 11,50 F à 37,10 F.

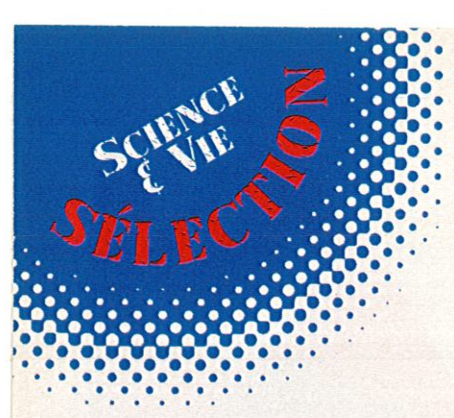
▶ Existe également en poudre. Après dilution, la boisson reconstituée est particulièrement économique : environ 5 F par litre.

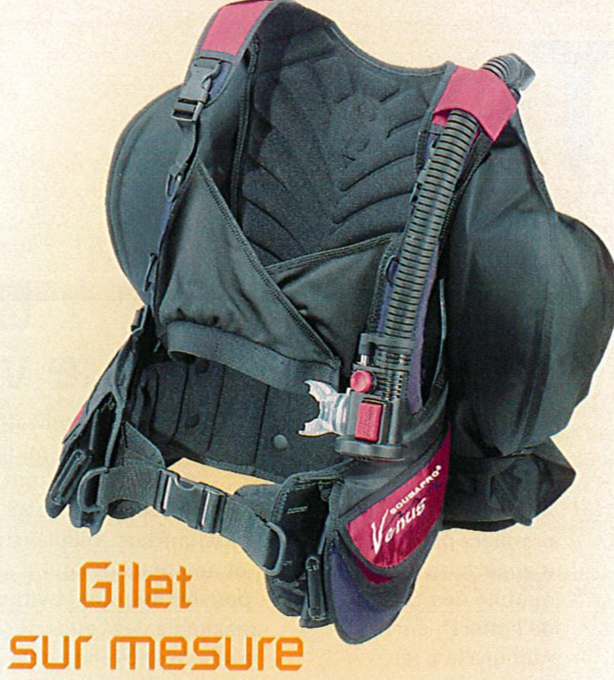
"Caméscope" sans cassette

Cet appareil hybride commercialisé par Hitachi est le premier "caméscope" qui enregistre des images sur un disque dur. Le MP-EG1 peut stocker vingt minutes de vidéo numérique sur une carte PCMCIA III de 260 méga-octets ; ou 3 000 photos au format JPEG (704 x 480 pixels) ; ou encore 1 000 photos accompagnées chacune d'un commentaire de dix secondes. Les images animées sont compressées au format MPEG1. Le transfert des données s'effectue au moyen de la carte PCMCIA ou grâce à une carte d'acquisition. Livré avec plusieurs logiciels. Prix : 18 000 F.

▶ **La définition des images est moyenne. Mais la facilité d'utilisation du MP-EG1 séduira tous ceux qui doivent présenter des documents multimédia.**







Il ne manque pas d'air

En quelques années, la société Dyson est devenue leader sur le marché des aspirateurs en Grande-Bretagne, avec son système Dual Cyclone, un aspirateur sans sac. Ce procédé garantit une puissance d'aspiration continue, car la poussière est aspirée non plus dans un sac, mais vers un collecteur transparent. Le dernier modèle, le DC 03, bénéficie de deux filtres, dont l'un est muni d'un écran bactéricide. Prix : 2 990 F.

▶ **Un peu bruyant et encombrant, mais très efficace. Le collecteur est facile à vider et à nettoyer, et un ingénieux tube souple, logé dans le manche, permet d'utiliser des petits balais pour aspirer dans les recoins.**

Gilet sur mesure

Mis au point par Scubapro, Vénus est un gilet de stabilisation ajustable adapté à la morphologie des plongeuses. Le système ARC (Auto Response Comfort) permet d'équilibrer le poids de la bouteille d'air comprimé, à laquelle est relié le gilet. Deux purges sont facilement accessibles. Un support dorsal thermoformé et matelassé maintient la partie lombaire ; une fermeture intégrale extensible maintient la poitrine sans la compresser. Prix : 3 995 F.

▶ **Un lestage intégré (poches amovibles) remplace avantageusement la ceinture de plomb.**

L'EURO S'AFFICHE

Prêt à accueillir la monnaie unique européenne, le clavier Key TroniCouf porte le symbole de l'euro. Gravé sur la même touche que le "E", l'epsilon traversé de deux barres horizontales s'obtient en enfonçant simultanément les touches "Alt Gr" et "E". Prix : 150 F.

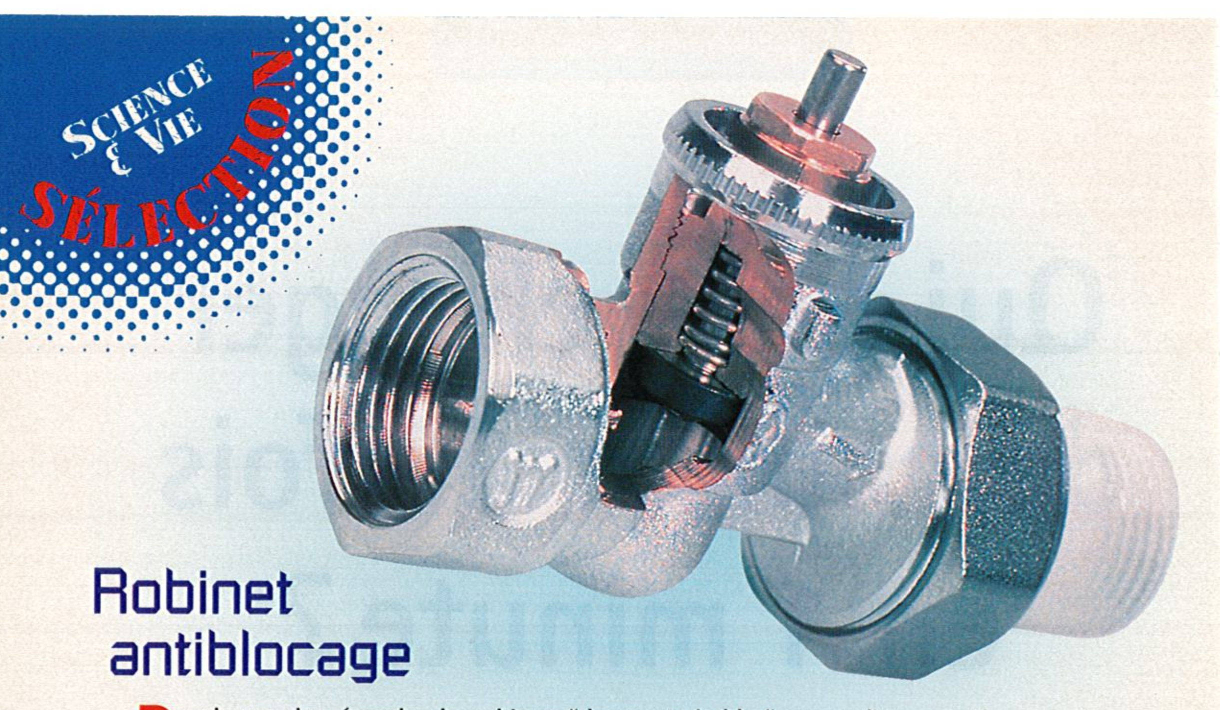
▶ Ce clavier est livré avec un pilote pour Windows 95 et Windows 3.x qui ne gèrent pas l'affichage à l'écran du symbole de l'euro.



Qui peut changer de couleur 10 fois en 1 minute ?

- ☐ une adolescente timide
- ☐ un ciel orageux
- ☐ un kaléïdoscope
- ☐ un diamant

réponse page suivante



Robinet antiblocage

De plus en plus répandus, les robinets "thermostatisables" pour radiateur ont la fâcheuse habitude de se bloquer durant les périodes où le chauffage est éteint. Le nouveau robinet de la société Giacomini, leader européen de la robinetterie de chauffage, évite cet inconvénient grâce à son axe unique en acier inoxydable, associé à un ressort de rappel renforcé. Prix : 40 F environ.

▶ **Il faut entendre par thermostatisable que ce robinet est vendu sans tête thermostatique (réglage manuel). Celle-ci se clipe sur le robinet sans outil et coûte environ 110 F.**

Vélo tout confort

Fabricant de tiges de selle suspendue pour les bicyclettes, la société varoise Cyclosoft commercialise la première tige sur mesure. Chargée de protéger la colonne vertébrale du cycliste, cette suspension est adaptée à sa morphologie et constituée d'un ressort et d'un amortisseur. Pour la conformer aux conditions du terrain, on peut régler sa dureté de l'extérieur, sans outil. La gamme comprend six modèles et trois couleurs de molettes ou de ressorts (or, argent, noir). Diamètre : 26,2 mm, 26,8 mm, 27,2 mm ; à la demande, de 25,4 mm à 29,8 mm. Prix : 495 F.

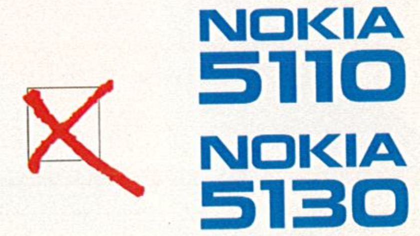
▶ **Facile à installer et à régler, un instrument indispensable aux fous de la petite reine.**

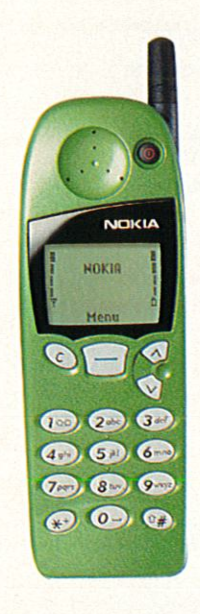
PATINS TOUT-TERRAIN

Ces patins en ligne, destinés à quitter le bitume pour aller folâtrer dans la nature, s'appellent Coyote. Ils sont équipés de trois roues pneumatiques inusables de 15 cm de diamètre, chargées de gommer les aspérités du terrain. Pour cet engin étonnant, Rollerblade a mis au point un non moins surprenant système de freinage, l'ABT Extrem : un frein à tambour (!) commandé par la roue arrière. La coque bénéficie d'une tige rehaussée qui assure un bon soutien latéral. Prix : 3400 F.

▶ **Original et coûteux.**









Xpress-on™ Covers

...En un clin de couleurs !

Changez de couleur quand vous changez d'humeur... Instantanément.
Le concept Xpress-on™ Covers de votre nouveau Nokia 5110 ou 5130 vous permet de changer la façade de votre mobile vous même, d'un seul geste. Pour accéder aux multiples fonctions de votre Nokia, pressez la simplissime touche Navi™ : la touche à tout faire ! Et parlez en toute liberté : votre Nokia 5110 ou 5130 vous permet de garder le contact jusqu'à 5 heures* en communication et près de 11 jours* en veille.







Tente de montagnard

Grâce à ses trois arceaux, dont deux sont croisés, la tente Helter Shelter de Jack Wolfskin garde une stabilité parfaite même par vent violent.
Bien qu'elle accueille deux personnes, son occupation au sol est extrêmement réduite. Cette caractéristique et son faible poids (2,9 kg) en font un outil précieux pour les randonnées dans des sites escarpés.
Dimensions : 1,5 m x 2,3 m x 1,1 m. Prix : 1 490 F.

▶ **Le double toit, en polyester Ripstop 75 D, est doublé d'une tente intérieure "moustiquaire" en Hydrofilm : on peut dormir à la belle étoile sans craindre les insectes.**



SIMPLE COMME LA PEINTURE

Le liquide d'étanchéité pour les balcons Alsan 500 de Sopréma s'applique au rouleau. Trois couches sont nécessaires. Prix : 170 F le kilo (par 5 ou 25 kg).

▶ **Le traitement requiert en moyenne 1 kg d'Alsan 500 par mètre carré.**

Mini et affranchie

Destinée aux PME-PMI, la Mini Baby Plus de Satas est une machine à affranchir le courrier. Elle est numérique, petite (19 x 28 x 18 cm), et d'une grande simplicité d'utilisation. Prix : 250 F par mois en location.

▶ **Grâce à un procédé d'impression thermique, elle imprime sans encre liquide, ce qui garantit une qualité de tirage constante.**



Pour les loups de mer

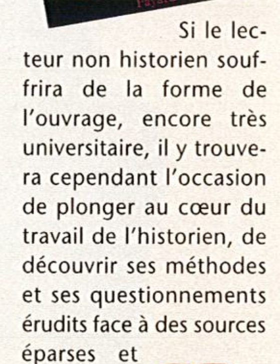
La montre DW 8600K fait partie d'une série limitée baptisée Dolphin & Whale, destinée aux surfeurs et autres loups de mer. Quand on lui indique la latitude et la longitude de l'endroit où l'on se trouve, elle calcule les phases de lune et l'heure des marées. Elle possède bien d'autres atouts : thermomètre, chrono, bip horaire et calendrier programmé jusqu'en 2039. Prix : 1 495 F.

▶ **Elle bénéficie du système G-Shock breveté par Casio, qui procure une grande résistance aux chocs.**

Livres

par Jean-François Robredo

Le fantasme de l'an mil



Dominique Barthélemy
LA MUTATION DE L'AN MIL A-T-ELLE EU LIEU ?
Fayard, 374 p., 140 F.

L'histoire du haut Moyen Age telle que l'enseignent les manuels scolaires ne serait-elle qu'un tissu d'idées reçues, de schématisations hâtives, de projections du présent sur le passé ? Prenons l'affaire de l'an 1000. Communément admise comme celle du grand bouleversement médiéval, cette date marquerait la naissance de la société féodale, de la chevalerie et de l'extension du servage. Et, surtout, c'est l'heure fatidique où, dans l'esprit des millénaristes d'alors, devait sonner la fin du monde.

Dans son dernier ouvrage, Dominique Barthélemy rappelle que cette vision nous vient du... XIXe siècle – et qu'elle retrouve une certaine vigueur chez nombre d'historiens contemporains. Or, il se pourrait bien que ce soit un pur fantasme.

C'est en tout cas ce qui ressort du livre de ce médiéviste de l'université Paris XII, qui s'attaque de front à ce qu'il faut bien appeler nos croyances sur le Moyen Age. Il fait le procès d'un modèle, celui de la "société féodale", qui, comme tout modèle, conduit à forcer le trait, à prendre pour ruptures brutales ce qui n'est que lentes évolutions.

Il dénonce donc les historiens qui ont tendance à interpréter une variation dans le style et le volume des documents disponibles comme le signe d'un profond bouleversement de la société et de ses valeurs. Ces critiques historiographiques n'épargnent pas ses propres maîtres, Marc Bloch et Georges Duby, peut-être les deux plus grands médiévistes de notre siècle.

L'ouvrage met également en lumière la complexité d'une période mal connue de l'histoire de l'Occident. L'étude attentive du servage révèle sa fonction de régulation sociale et son caractère négociable. Ainsi, l'entrée en servitude n'est pas nécessairement vécue comme une déchéance. On voit par exemple des asservis volontaires qui se donnent en servage après avoir payé de leur poche l'affranchissement de leur maître précédent.

Dans un autre chapitre, le médiéviste nous montre que la chevalerie n'est pas née au XIe siècle, mais qu'elle était depuis longtemps l'apanage des Carolingiens. Au bout du compte, il est difficile de penser que l'an mil marque une quelconque mutation historique.

Si le lecteur non historien souffrira de la forme de l'ouvrage, encore très universitaire, il y trouvera cependant l'occasion de plonger au cœur du travail de l'historien, de découvrir ses méthodes et ses questionnements érudits face à des sources éparses et fragmentaires.

Philippe Chambon



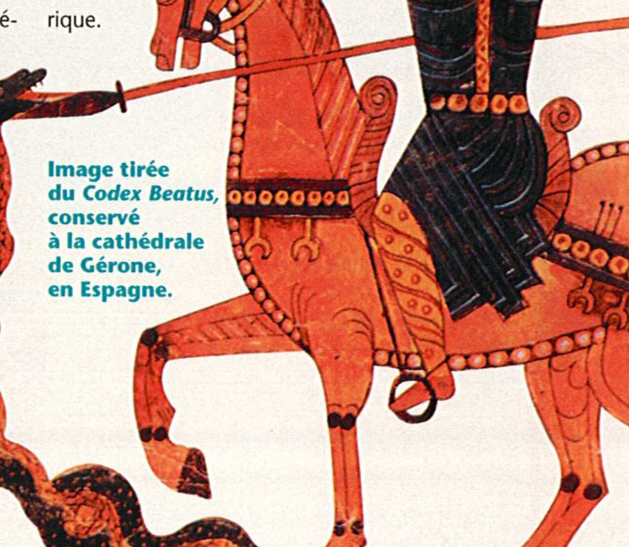
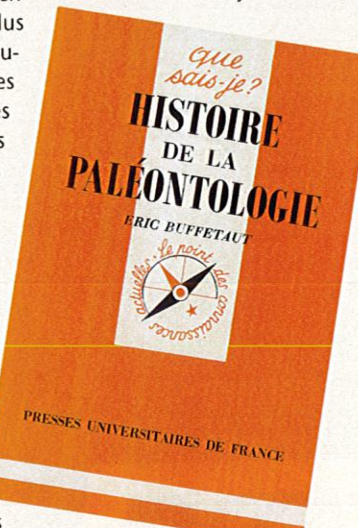


Image tirée du *Codex Beatus*, conservé à la cathédrale de Gérone, en Espagne.

L'éternel retour des espèces

Eric Buffetaut
HISTOIRE DE LA PALÉONTOLOGIE
PUF, coll. "Que sais-je ?", 128 p., 42 F.

Qu'est-ce qu'un fossile ? Pline l'Ancien voyait dans les antiques dents de requin des objets tombés du cosmos pendant les éclipses... Plus tard, en 600, au Royaume-Uni, on prenait les coquilles spiralées des ammonites pour des serpents transformés en pierre par sainte Hilda... En 1282, le moine italien Ristoro d'Arezzo signale la présence de coquilles fossiles au sommet d'une montagne : il en conclut que ce sont les restes d'animaux abandonnés par les eaux après le Déluge. Explication conforme aux Saintes Ecritures...



Il faudra attendre le XVIIe siècle pour qu'un anatomiste italien qui avait trouvé des restes d'éléphant démontre que les espèces peuvent disparaître. Mais admettre l'idée de l'extinction des espèces, c'est aussi admettre que l'homme peut être lui-même un facteur d'extinction. Comme ce fut peut-être le cas pour les mammouths.

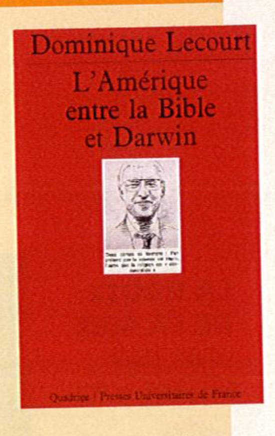
De nombreuses espèces se sont donc éteintes. Mais, à en croire l'Ecossais Charles Lille, tous les êtres renaissent, selon un processus cyclique : « L'énorme iguanodon pourrait réapparaître dans les bois et l'ichtyosaure dans la mer, alors que le ptérodactyle volerait de nouveau à travers les bosquets de fougères arborescentes. » Une sorte d'"éternel retour" !

Bien curieuse histoire que celle d'une science qui recrée des animaux à partir de fragments millénaires... Le paléontologue Eric Buffetaut, directeur de recherche au CNRS, la dévoile ici de façon passionnante, de l'emploi des fossiles comme bijoux par les hommes préhistoriques, à Jurassic Park.

Marie-Sophie Germain

EN LIBRAIRIE

Dominique Lecourt
L'AMÉRIQUE ENTRE LA BIBLE ET DARWIN
Quadrige/PUF, 228 p., 55 F.

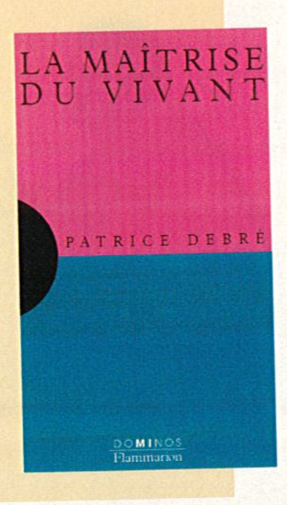


Ce livre, première édition en poche, est l'un des plus salutaires de ces dernières années. Le philosophe Dominique Lecourt y analyse le combat, aux Etats-Unis, entre les "créationnistes" et les "darwiniens". Une enquête vivante et précise qui est aussi une analyse profonde et exemplaire.

Gerald Holton
SCIENCE EN GLOIRE, SCIENCE EN PROCÈS Entre Einstein et aujourd'hui
Gallimard/NRF, 292 p., 160 F.

En cette fin de siècle, la science est rejetée par le grand public et par les scientifiques eux-mêmes. Pourquoi ? C'est à cette question que tente de répondre l'auteur, à travers, notamment, un exemple privilégié : Einstein.

Patrice Debré
LA MAÎTRISE DU VIVANT
Flammarion, coll. "Dominos", 128 p., 41 F.



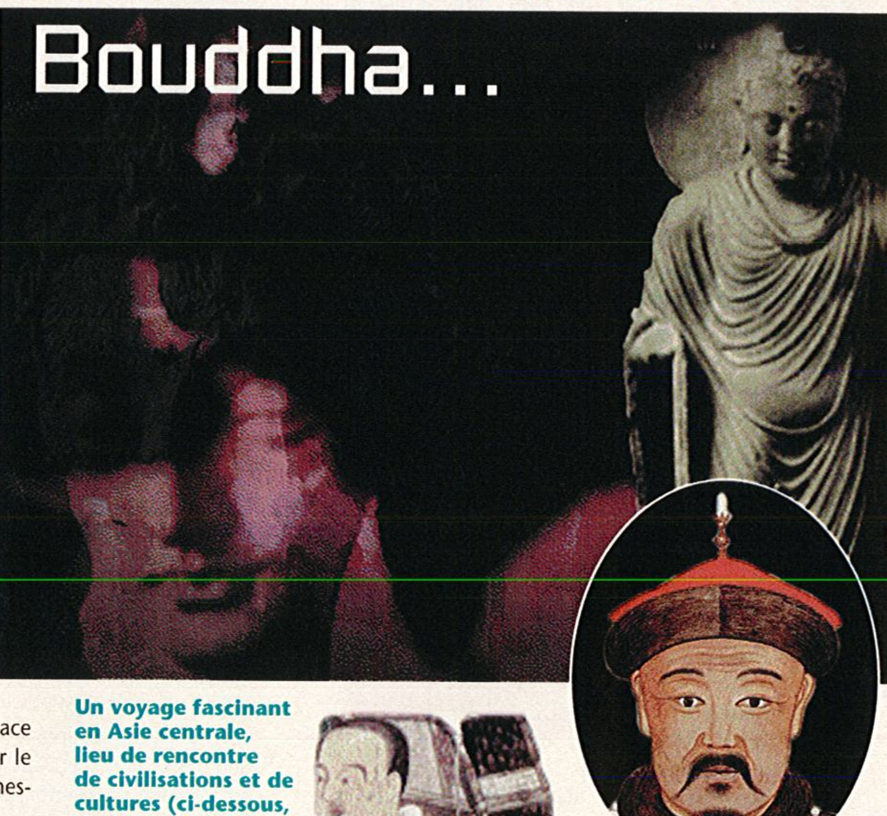
Qu'est-ce que la vie ? Comment l'homme s'est-il rendu maître du vivant ? A ces questions d'abord une réponse scientifique, puis une autre, historique et épistémologique, selon le principe de la collection.



CD-Rom

par Jean-René Germain

Et Zeus rencontra Bouddha...



LA ROUTE DE LA SOIE

Studio, 299 F
(pour Mac et PC).

Ce merveilleux CD-Rom consacré à la découverte de l'Asie centrale a bien mérité le prix Moebius. Région qui s'étend de la ville chinoise de Xian aux rives de l'océan Indien, route millénaire sur laquelle Zeus a rencontré Bouddha, par laquelle l'Orient a fécondé l'Occident, l'Asie centrale occupe une place unique au monde par le foisonnement et la riches-



Un voyage fascinant en Asie centrale, lieu de rencontre de civilisations et de cultures (ci-dessous, une scène au Moyen Age).

Kublai Khan (1215-1294), petit-fils de Gengis Khan, fut l'un des empereurs mongols de Chine.



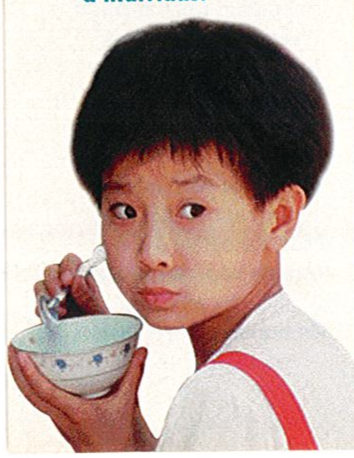
se des civilisations et des cultures qui s'y sont interpénétrées.

Longtemps inaccessible en raison des bouleversements du siècle, voici qu'elle s'ouvre au point de devenir l'une des principales artères commerciales de la planète. Quel plaisir donc de voyager dans ce CD-Rom très richement illustré grâce à un système de navigation extrêmement souple.

Comme toujours en Orient, tout commence dans un bazar. Chacun choisira son champ d'exploration : la géographie, les peuples, les religions, les langues, ou les explorateurs eux-mêmes. De magnifiques photos, des séquences animées, des cartes merveilleusement claires nous plongent dans un tourbillon éblouissant. De plus, une section ludique nous enseigne le jeu de bouzkachi, la construction d'une yourte, etc.

Il existe également une version de cet ouvrage en anglais.

La population chinoise est constituée à 94 % par les Han (ci-dessous) et par des minorités, parfois composées de millions d'individus.



Claude, Camille, Alfred et les autres...

L'IMPRESSIONNISME
Un voyage au pays de la lumière et de la couleur

Emme, coffret de 2 CD-Rom, 299 F (pour PC).

L'occasion de visiter virtuellement la première exposition impressionniste de 1874, en compagnie de Louis Leroy, le critique d'art qui donna son nom à un mouvement appelé à révolutionner l'histoire de la peinture.

La moitié des quatre cents œuvres présentées sont commentées. Une fonction zoom – d'un maniement aisé – en révèle les détails. L'ouvrage propose aussi une analyse succincte des notions artistiques et des thèmes impressionnistes. Attention : pour en profiter pleinement, il faut posséder un moniteur offrant 32 000 couleurs.

Isabelle Bourdial

Détail de l'*Olympia* d'Edouard Manet.



A droite, *l'Absinthe*, d'Edgar Degas. Ci-contre, *Bords de Seine à Villeneuve-la-Garenne*, d'Alfred Sisley.

NOUS AVONS AIMÉ ...

ODYSSEY THROUGH 02
par Jean-Michel Jarre

Francis Dreyfus Music, 130 F (pour PC).

Miracle du numérique : on peut passer le célèbre *Oxygène* de Jean-Michel Jarre à la fois sur le lecteur de CD de sa chaîne hi-fi ou dans le lecteur de CD-Rom de son ordinateur. Dans ce dernier cas, surprise : tout en écoutant les morceaux, on est à même, grâce à une console interactive qui apparaît sur l'écran, de créer ses propres tableaux animés en fonction de la musique. Un concept nouveau.

DÉSIR D'ORIENT
Aux sources orientales de l'art occidental

Les temps qui courent, 249 F (pour Mac et PC).

En plus de deux cents chefs-d'œuvre, un siècle de peinture orientaliste.

ENCYCLOPÉDIE DES ANIMAUX ET DE LA NATURE 1998

TLC-Edusoft, 199 F (pour PC).

Plus de 700 espèces animales sont présentées dans leur habitat. Les régions où l'on trouve une flore et une faune particulières sont aussi bien décrites.

Science & Vie Sélection

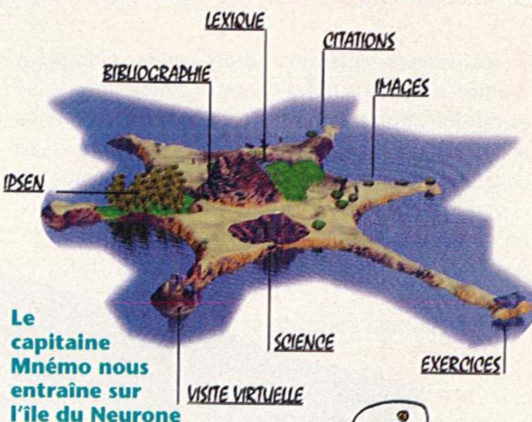
CD-Rom

L'île du Neurone

CAPTAIN MNÉMO

Institut Ipsen (pour PC). Disponible sur demande écrite accompagnée d'un chèque de 98 F à l'ordre de la Fondation Ipsen, 24, rue Erlanger, 75016 Paris (1).

Bonne idée que d'avoir retenu le côté ludique pour exposer, de façon très pédagogique, l'état de nos connaissances sur la mémoire. Les ressources du multimédia sont particulièrement bien exploitées pour présenter les concepts, les mécanismes, la structure anatomique…



Le capitaine Mnémo nous entraîne sur l'île du Neurone à la découverte de la mémoire.

Le curieux aussi bien que le spécialiste, le maître comme l'élève peuvent s'entraîner à des exercices qui permettent de comprendre les mécanismes des facultés mnésiques à la lumière des théories de la psychologie cognitive.

Il suffit d'aborder l'un des sept lieux de l'île du Neurone dans le sillage du capitaine Mnémo et de se laisser aller à l'aventure.

(1) Une partie de cette somme sera reversée à l'opération "Donnons des couleurs à l'hôpital" de la fondation des Hôpitaux de Paris-Hôpitaux de France, à l'automne prochain.

Votre argent vous intéresse

QUICKEN 98

Intuit, 359 F (pour PC).

L'objectif de cet ouvrage, grand rival du programme de gestion personnelle de Microsoft, est clair : comment gagner de l'argent tout en économisant du temps. Et, il faut bien le reconnaître, son utilisation est d'une manipulation plus simple et plus claire que celle de son concurrent. Comme toujours dans ce genre de logiciel, il s'agit d'automatiser entièrement la gestion de ses comptes et d'obtenir à chaque instant l'état de sa fortune. On y retrouve donc tous les classiques du genre : paiement des factures, gestion des comptes bancaires, transactions à venir, comptes des cartes de crédit et des espèces, etc. De plus, grâce à toute une série de programmes où l'on aura intégré divers éléments financiers, ce logiciel donne des conseils forts utiles sur la manière d'épargner davantage, de réduire ses impôts, d'accéder à la propriété ou de préparer sa retraite. Et, bien sûr, on peut en permanence mettre à jour tous les éléments et se connecter à son compte bancaire à l'aide des liaisons internet. Un bon investissement !

Nouvelle donne stratégique

LE TROISIÈME MILLÉNAIRE

Cryo-Interactive,
369 F (pour PC).

Les essais nucléaires indiens viennent à point pour nous rappeler qu'après l'effondrement du bloc de l'Est une donne stratégique mondiale imprévisible se met en place à l'aube du XXIe siècle. Ce jeu stratégique met en lumière les nombreux facteurs – sociaux, économiques, industriels, scientifiques, financiers – qui déterminent cette nouvelle donne.

Mais, tout en restant rigoureux, l'ouvrage n'est pas dépourvu de fantaisie. Tout commence le 1er janvier 2001 : vous choisissez votre zone géographique de départ et à vous de mener la planète à la grande unification !



Des simulations futuristes qui surprennent ou qui font froid dans le dos.

Croisière sur le Nil

AUX SOURCES DE L'ÉGYPTE ANCIENNE

Les Temps qui courent,
349 F (pour Mac et PC).

L'Egypte pharaonique figure probablement en tête des sujets les plus traités par l'édition. On ne compte plus les beaux livres d'art et d'histoire qui lui sont consacrés. Que pourrait apporter de plus un CD-Rom, sinon le plaisir de l'exploration interactive ?

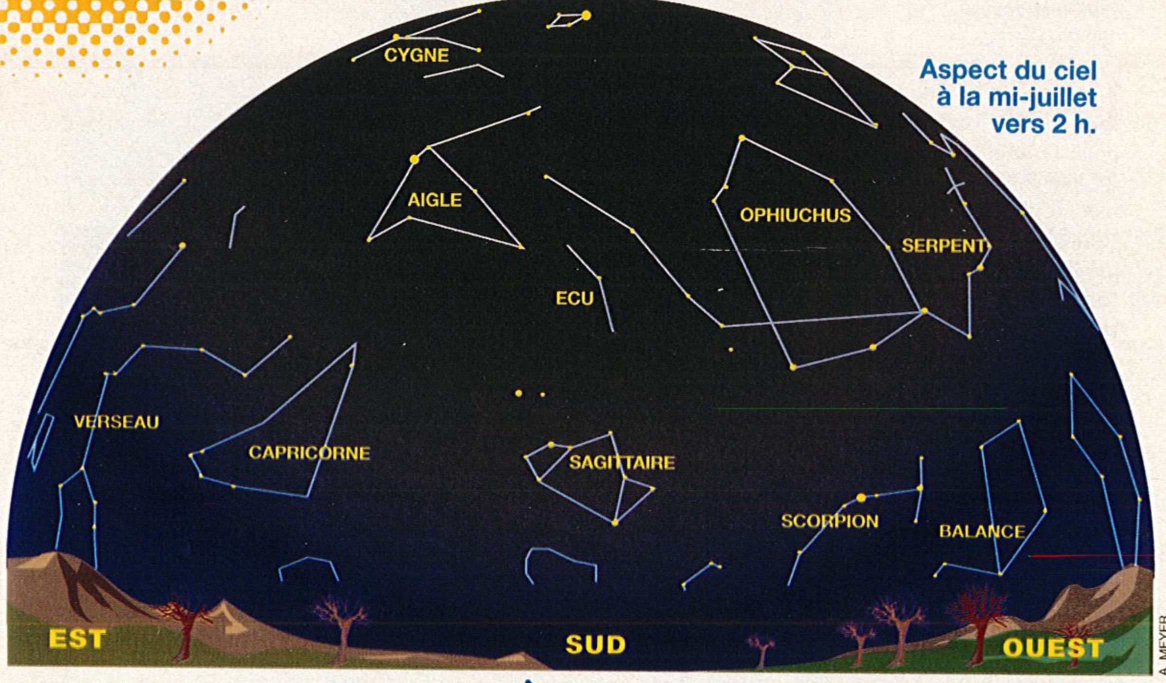
Invité à naviguer sur le Nil, on découvre les grands sites archéologiques. Cette encyclopédie propose un millier d'illustrations : photos des principaux monuments ou de leur reconstitution, œuvres d'art à foison. Une frise des grands événements du monde ancien permet de se repérer dans le temps.

Deux égyptologues du CNRS, Jean-Claude Jolvin et Philippe Martinez, signent ce superbe CD-Rom, qui offre même des restitutions de temples inédites. Dommage que la petite taille des dessins et l'absence de légendes gênent quelque peu la compréhension. *I. B.*



Le ciel

PAR YVES DELAYE



Aspect du ciel à la mi-juillet vers 2 h.

Premières armes sur la Lune

Les mois d'été fournissent souvent au débutant l'occasion de procéder à ses premières observations avec un instrument. L'astre idéal est bien sûr la Lune, facile à localiser et à pointer. Voici quelques conseils pour profiter du spectacle.

Le jour le plus propice à cette observation est-il celui de la pleine lune ? En fait, tous les jours se valent, mais il y a des zones favorables. En effet, le jour de la pleine lune, les rayons du Soleil sont perpendiculaires au sol de notre satellite ; il n'y a pas d'ombre portée. Aucun détail n'est donc visible, sinon des différences de brillance.

La zone sur laquelle il faut porter son attention est la séparation de l'ombre et de la lumière à la surface de la Lune, ligne imaginaire appelée terminateur. Bien entendu, tout au long de la lunaison, le terminateur se déplace.

Avant la pleine lune, il découvre de nouvelles régions et de nouveaux détails. Inversement, après la pleine lune, ces détails disparaissent à tour de rôle. Il est intéressant d'observer un cratère sous deux éclairages, avant et après la pleine lune. Les détails ne sont jamais tout à fait identiques.

Reste un point important : à quel grossissement faut-il observer la Lune ? Un faible grossissement (pas plus de 60 fois) permet de découvrir notre satellite en entier et d'identifier les grandes formations.

On emploiera un grossissement moyen (de 90 à 150 fois) pour étudier les chaînes de montagnes ou les cratères, ainsi que les "rivages" des mers et des océans, où la lave solidifiée forme des vaguelettes.

Les forts grossissements – que supporte fort bien la Lune – autorisent une vraie promenade à la surface de notre satellite. A 250 fois et plus, on aura la même impression que les astronautes en orbite lunaire. Il faut dire que, à de tels grossissements, l'observateur terrestre se retrouve à seulement 1 500 km de la surface lunaire !

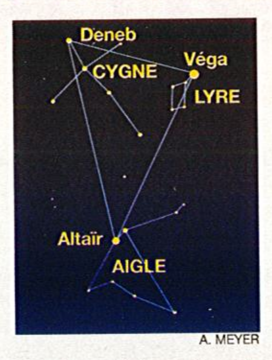
Beaucoup de lunettes ou de télescopes sont livrés avec un filtre lunaire, accessoire destiné à éviter l'éblouissement de l'œil au cours de certaines phases de la Lune. Il n'est pas absolument indispensable, la lumière lunaire n'étant pas dangereuse, mais il procure un plus grand confort visuel.

QUE REGARDER ?

▶A L'ŒIL NU

■ Le triangle d'été

Le ciel d'été est dominé par trois belles constellations dont les étoiles les plus brillantes forment un immense triangle. Il s'agit de la Lyre, avec Véga, du Cygne, avec Deneb, et de l'Aigle, avec Altaïr. En juillet, aux alentours de minuit, le triangle trône du zénith jusque bas au sud.



A. MEYER

Véga de la Lyre est la troisième des étoiles les plus brillantes. La constellation elle-même, en forme de parallélogramme, est très petite. Celle du Cygne dessine une vaste croix dont Deneb est le sommet. Au centre, l'amas M 29, formé d'une dizaine d'étoiles, que Messier a découvert en 1764.

Quant à l'Aigle, il était pour les Grecs l'oiseau de proie qui transportait les éclairs de Zeus. Altaïr, qui signifie "aigle en vol" en arabe, est l'une des étoiles proches de nous : 16 années-lumière (a. l.) de distance.

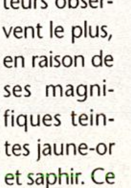
▶AUX JUMELLES



■ La Croix du Nord

Sa forme vaut à la constellation du Cygne d'être également appelée Croix du Nord. Le pied est constitué par l'étoile ß, Albiréo – ce nom semble être le résultat d'altérations successives. C'est en 1755 que Bradley identifia Albiréo comme une étoile double. Les deux composantes ont une magnitude de 3,2 et 5,4. Elles ont un écartement de 34 secondes d'arc, ce qui les rend facilement observables à l'aide de jumelles.

Albiréo est l'une des étoiles doubles que les amateurs observent le plus, en raison de ses magnifiques teintes jaune-or et saphir. Ce sont bien ses véritables couleurs : elles sont non pas dues à un effet de contraste, comme cela arrive souvent avec les étoiles doubles, mais à une différence de composition des deux astres. Un joli couple, à contempler sans modération…


L'étoile double Albiréo
Y. DELAYE

▶AU TÉLESCOPE

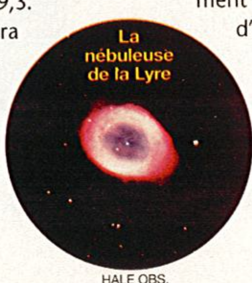


■ La nébuleuse de la Lyre

C'est dans un télescope de 75 mm de diamètre que, en 1779, Darquier découvrit cette nébuleuse. Messier l'inscrivit à son catalogue sous le numéro 57. Située à 1 400 a. l. de la Terre, la Lyre a un diamètre réel de 0,5 a. l. Elle présente un petit diamètre apparent, d'environ une minute d'arc, et sa magnitude est de 9,3.

Malgré tout, on la repérera assez facilement dans le chercheur du télescope. Sa brillance de surface est en effet très élevée, ce qui la rend spectaculaire même dans un ciel urbain. Un grossissement de 50 à 100 fois est souhaitable pour bien discerner la silhouette en anneau de fumée de M 57. C'est la forme des nébuleuses dites "planétaires".

L'étoile centrale, qui a donné naissance à la nébuleuse par expulsion de ses couches superficielles, est de magnitude 14,7. Elle est donc invisible dans la plupart des instruments d'amateur. Cette étoile bleue, très chaude, a une température de surface de 75 000 °C. La nébuleuse est essentiellement constituée d'hydrogène et d'hélium ionisés, mais elle comprend aussi de l'oxygène, du néon, du fer et de l'azote. Elle s'étend actuellement à une vitesse de 38 km/s. Son diamètre apparent augmente de 1" par siècle.


La nébuleuse de la Lyre
HALE OBS.

PLANÈTES ET LUNE

VENDREDI 10
La pleine lune est en conjonction avec Neptune. Le lendemain, c'est le tour d'Uranus. A suivre aux jumelles au-dessus de l'horizon sud-est, après le coucher du Soleil.

MARDI 14
Après minuit, beau rapprochement d'une Lune gibbeuse avec Jupiter. Les deux astres ne sont séparés que de 3 degrés.

VENDREDI 17
Vers 3 heures, conjonction du dernier quartier de lune avec Saturne.

MARDI 21
Dans le ciel auroral, Vénus se trouve à côté d'un fin croissant de lune.

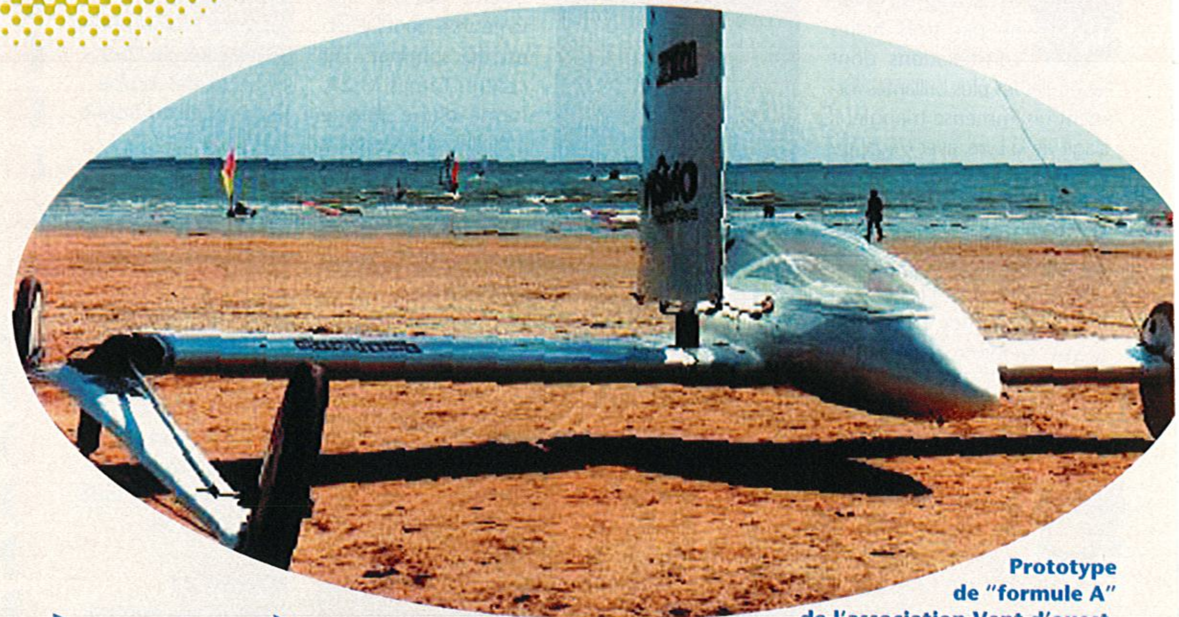
MERCREDI 22
Le croissant de lune, encore plus fin que la veille, est maintenant à proximité de Mars, dans le ciel du matin.

DU 28 AU 30
Trois essaims de météores connaissent leur maximum d'activité : les Delta aquarides, les Pisces australides et les Alpha capricornides.

DU 30 JUILLET AU 2 AOÛT
Les Parisiens pourront assister, du rond-point des Champs-Elysées, au coucher du Soleil dans l'Arc de triomphe.



par Christelle Célarié

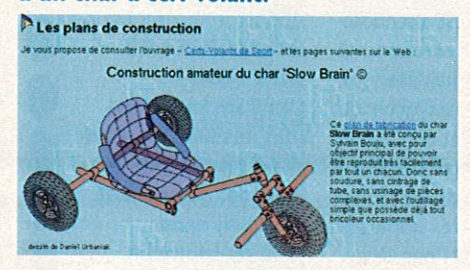


Prototype de "formule A" de l'association Vent d'ouest.

La plage, c'est aussi du sport !

Cet été, pour ne pas bronzer idiot, il suffit d'acheter ou de fabriquer un cerf-volant, de se mettre au char à voile ou de devenir sculpteur de sable. Avant-goût (non exhaustif) sur le Web...

Plan de construction d'un char à cerf-volant.



Char à voile

@ « Trois fois plus vite que le vent » : c'est la devise de l'Association des pilotes et propriétaires de chars à voile. Sur son serveur, on trouve l'actualité de la formule A (la formule 1 des chars à voile), la carte des lieux de pratique, la météo, remise à jour quotidiennement, et les marées.

http://www.nordnet.fr/asppro/

Depuis 1991, Bertrand Lambert détient le record du monde de vitesse en char à voile : 151,55 km/h sur 50 m, sur la plage de Berck (Pas-de-Calais). L'association Vent d'ouest, qui réunit plus



Le tout premier char à cerf-volant fut conçu en 1822.

de quatre-vingts personnes, veut battre ce record. Tous les détails de l'opération sur le site :
http://www.oceanet.fr/Associations/vgv/homechv.htm

Le premier char à cerf-volant date de 1822 : cette année-là, George Pocock, enseignant à Bristol (Grande-Bretagne), inventa un véhicule léger tracté par deux cerfs-volants. Aujourd'hui, la version standard est le "tricycle" : les pieds dirigent le char, et les bras conduisent le ou les cerfs-volants. Pour connaître l'histoire de cet engin et découvrir les plans de construction, rendez-vous à l'adresse :
http//www.micronet.fr/%7Eebat/

Frisbee

@ Le frisbee (ou *flying disc*) est un disque en plastique légèrement bombé qui plane quand on le lance en le faisant tourner sur lui-même. Pour améliorer son lancer, un seul serveur (en anglais) : The Frisbee Page. Le professeur a même prévu les erreurs de trajectoire et suggère des corrections. Le lien hypertexte "Internet Disc Shoppe" permet de commander en ligne des "disques volants" aux Etats-Unis.
http://www.sccs.swarthmore.edu/~dalewis/frisbee.html

Aux Etats-Unis comme en France, le frisbee est devenu un sport à part entière. Dans la compétition dite "*ultimate*", deux équipes de sept s'affrontent, le frisbee jouant le rôle du ballon. Objectif : marquer 21 points dans la zone d'"en-but" de l'adversaire. Parmi les disciplines individuelles, on trouve la Distance (lancer le disque le plus loin possible), le Disc Golf (le mettre dans un panier métallique), le TMA (temps maximum en l'air : on chronomètre sa durée de vol), etc.



Un "*ultimate*" de frisbee.

Le site de l'Ultimate Sun Frisbee, un club de Créteil (Val-de-Marne), donne de plus amples renseignements sur cette discipline :
http://www.mygale.org/07/sfcc/

Le sable vert des plages hawaïennes vu au microscope.

Cerf-volant

@ Le cerf-volant est né en Chine il y a plus de trois mille ans. L'armature était en bambou, et la voile, en soie. En Europe, sa pratique se développe au XVIIIe siècle, et, aujourd'hui, c'est une véritable discipline sportive. Le site de la Ligue française raconte son histoire et fournit la liste des clubs affiliés (plus de cinquante) :
http://www.ladp.insys.fr/l_ligue.htm

Le serveur du club de cerf-volant les Ailes du délire donne de précieux conseils pour réussir le décollage et l'atterrissage et exécuter des figures de vol complexes. Parmi d'autres astuces de construction, on apprend comment rendre un cerf-volant silencieux : il suffit de se munir d'une aiguille à canevas et de passer un fil dans l'ourlet du bas de la toile. Les consignes de sécurité et une brève explication de la circulation de l'air et du vent se trouvent également à cette adresse :
http://www.nordnet.fr/ieic/add/index.html

Les vastes plages de l'océan ne sont pas seules à accueillir les "cerf-volistes". Derrière le golf de Disneyland Paris, sur les plateaux du Puy-de-Dôme, à côté de la faculté des sciences de Toulouse, ils sont aussi à leur affaire. Pour connaître les autres "spots" (terrains de pratique), il faut se rendre à :
http://194. 51.211.100 /cerf/

Châteaux de sable

@ L'une des activités de plage les plus populaires est, bien sûr, la construction de châteaux de sable. L'Association mondiale des sculpteurs de sable a pour principale mission de faire reconnaître cette activité comme une discipline artistique à part entière :
http://www.sandworld.com/

Le Centre Internet pour le sable rappelle les recherches effectuées dans ce



domaine : étude de l'érosion des plages, du phénomène du "chant des dunes"... Très belle galerie de photos, qui donnera des idées aux plus doués.
http://www.netaxs.com/~sparky/sand.html

Les arénophiles découvriront sur le serveur Sand une exposition virtuelle de sables du monde entier. Sable orangé du désert égyptien, vert des plages hawaïennes, etc. Echantillons vus au microscope et jeu de questions-réponses.
http://www.paccd.cc.ca.us/instadmn/physcidv/geol_dp/dndougla/SAND/SANDHP.htm ■

FUTURS

STATION SPATIALE

Le retard va coûter cher

■ La construction de la station spatiale internationale doit commencer cette année. Mais le lancement du premier élément n'aura sans doute pas lieu avant octobre, soit avec quatre mois de retard. Qui est responsable ? Les Russes, comme le soutiennent les Américains ? Ou la NASA elle-même ?

PAR **GERMAIN CHAMBOST**

NASA

NTERNATIONALE

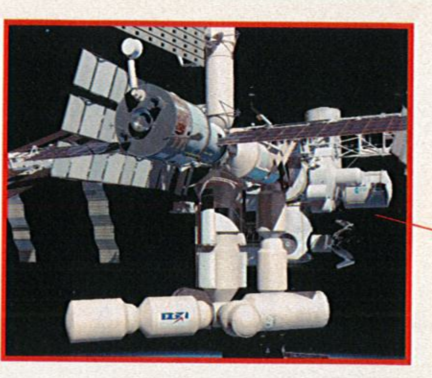
Le lancement du module russe FGB (1), premier élément de la future station spatiale internationale (ISS, International space station), devait avoir lieu le 30 juin, sur le cosmodrome de Baïkonour. Mais, lors d'une revue de détail, fin avril à Moscou, les Russes ont demandé que l'opération soit retardée de plusieurs mois. Requête qui témoigne des difficultés rencontrées par les concepteurs de la station pour mener à bien un programme qui défie l'imagination.

Sous la direction des Américains et de la NASA, l'agence fédérale de l'aéronautique et de l'espace des Etats-Unis, Russes, Canadiens, Japonais, Brésiliens et Européens, vont en effet ériger un gigantesque complexe orbital de 415 tonnes. Long de 108 m, large de 74 m, il aura un volume habitable de 1200 m³, pourra recevoir un équipage permanent de six ou sept astronautes ou cosmonautes, et comprendra six laboratoires. Il sera visible à ■ ■ ■

(1) Initiales russes pour *Functional cargo block* (module de stockage du matériel et du carburant).

Un MECCANO de 415 tonnes

La station spatiale internationale, dont les éléments sont actuellement en construction aux quatre coins du monde, sera grande comme un terrain de football, pèsera 415 tonnes et pourra recevoir en permanence une demi-douzaine d'astronautes.



l'œil nu par les Terriens, comme une nouvelle étoile dans le ciel…

Jamais à court de superlatifs, certains commentateurs comparent déjà la station aux réalisations les plus prestigieuses dont l'histoire garde le souvenir ou dont nous admirons aujourd'hui les vestiges. L'ISS serait l'équivalent moderne des sept merveilles du monde : la démonstration des capacités technologiques, de l'esprit d'entreprise et de l'ambition de l'homme. C'est, en tout cas, le plus grand projet international de coopération scientifique et technique de tous les temps. De plus, un projet à vocation civile, soulignent à l'envi ses plus chauds partisans.

D'autres, à l'instar du ministre français de la Recherche, Claude Allègre – mais il n'est pas le seul –, y voient d'abord un énorme gaspillage de fonds publics, sans réelles retombées utiles. Du moins pour les Européens, qui participent au financement mais n'auront qu'un "strapontin" à bord, selon le

LES EUROPÉENS N'AURONT QU'UN "STRAPONTIN" À BORD…

mot du ministre. Et sans qu'on sache exactement combien, au bout du compte, coûtera la station, si l'on se reporte aux dérives de coût déjà enregistrées. D'où le soupçon, exprimé par certains adversaires de l'ISS, que celle-ci vise d'abord à mobiliser les capacités financières des partenaires des Etats-Unis, afin d'affaiblir ceux qui, comme les Européens, se posent en concurrents des Américains.

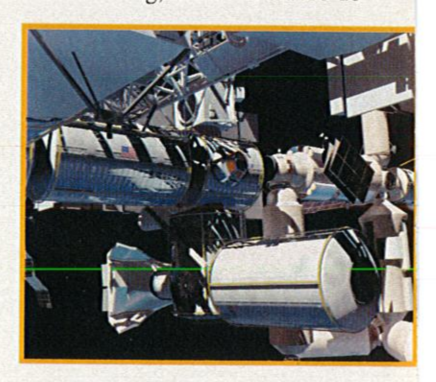
Quand le projet fut définitivement adopté par le président Bill Clinton, en 1993, son coût s'élevait à 17,4 milliards de dollars. Les dernières estimations font état d'un prix final de 24,7 milliards de dollars (quelque 150 milliards de francs) pour la seule construction du complexe orbital. Si l'on y ajoute les frais d'exploitation, on aboutit à une facture de près de 600 milliards de francs en vingt ans. Chiffres qui, c'est vrai, donnent le vertige…

PLUS RIEN NE PEUT ARRÊTER LE PROJET

Rien, cependant, ne semble plus pouvoir arrêter la mise en chantier et la fabrication de la station. L'accord intergouvernemental sur l'ISS a été signé le 29 janvier dernier à Washington. Peut-être le projet sera-t-il révisé à la baisse, en cours de route, par manque de fonds. Mais, sous une forme ou sous une autre, l'ISS tournera au-dessus de nos têtes dans un avenir plus ou moins proche. L'assemblage du colossal Meccano de l'espace – des tronçons, des modules, des laboratoires sont actuellement en construction aux quatre coins du monde – se poursuivra. Le programme en est fixé dans les moindres détails. Mais, quant à savoir si le calendrier sera respecté, c'est une autre affaire…

Sous réserve de modifications, le programme prévoit vingt-deux vols de navettes américaines pour placer en orbite les éléments qui sont de la responsabilité des Etats-Unis, dix vols de lanceurs russes et, en principe, un vol européen en 2002, avec une fusée Ariane 5, destiné à envoyer dans l'espace un véhicule de transport de ravitaillement. A quoi s'ajouteront six vols de navette pour l'utilisation de l'ensemble orbital, plus trente et un lancements russes : dix pour les aller et retour des équipages, et vingt et un pour le soutien logistique, l'approvisionnement en vivres et en carburant.

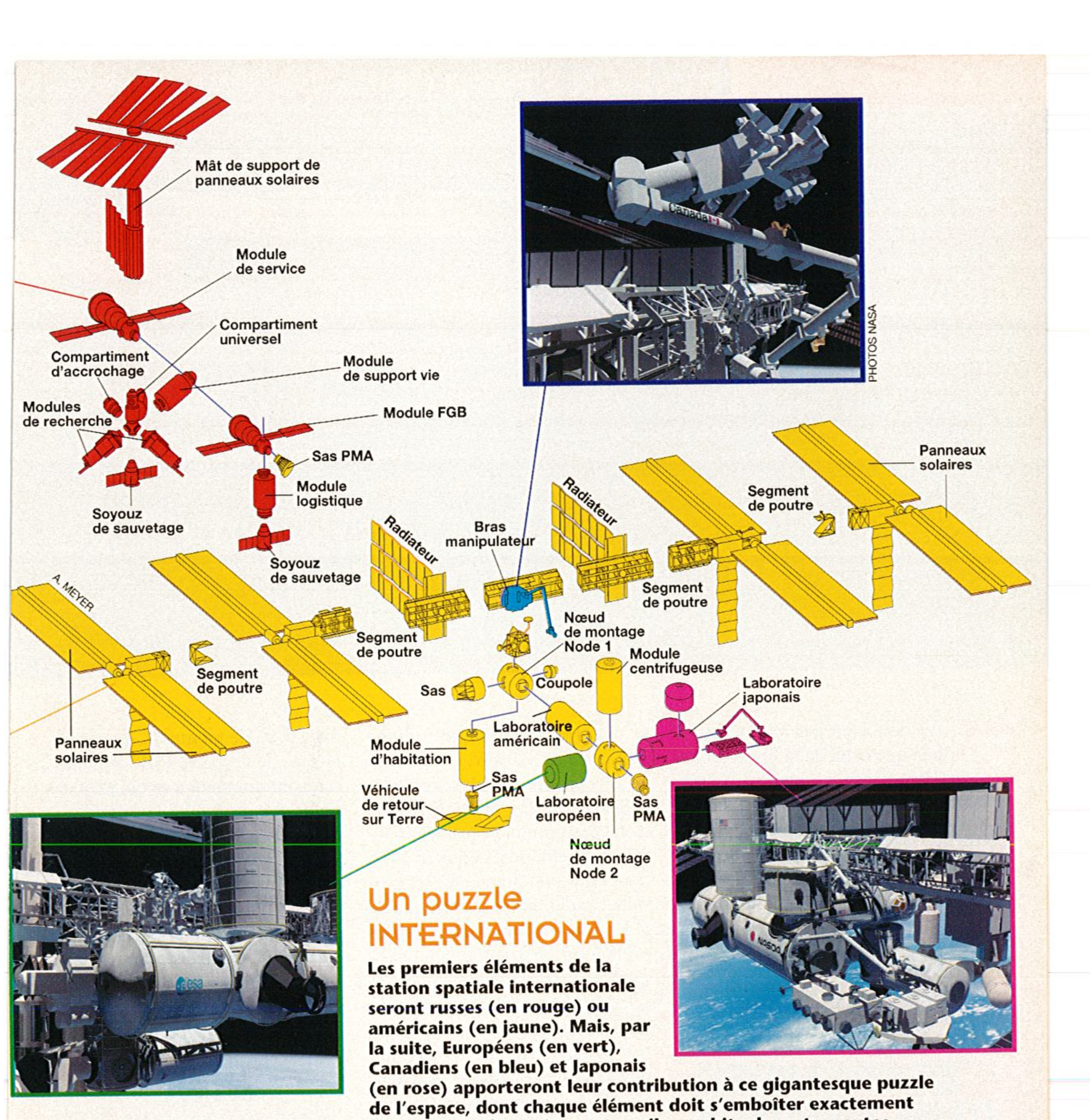
Le premier module, le FGB, d'une masse de 20 tonnes, fabriqué et lancé par les Russes à l'aide d'une fusée Proton, doit servir de point d'ancrage aux modules suivants, quelle que soit leur origine. Elaboré par NPO Energya et le centre de recherche et de construction d'Etat Khrounitchev, pour le compte de la firme américaine Boeing, maître d'œuvre de



l'ISS, il a fait l'objet de modifications en cours de route, ce qui explique le retard.

Les changements avaient notamment pour but d'améliorer ses fonctions de contrôle d'altitude et ses capacités de rendez-vous et d'amarrage avec les vaisseaux de ravitaillement Progress. Dans une phase ultérieure, le FGB servira d'ailleurs au stockage des matériels et du carburant. Son électronique de bord a également été renforcée.

Pivot de la future ISS, en tout cas dans la phase d'assemblage initiale, il assurera le contrôle orbital de la station et les liaisons avec la Terre. Grâce à ses panneaux solaires, il produira de l'énergie électrique et la fournira aux éléments qui viendront se joindre à lui. A commencer par le module améri-



Un puzzle INTERNATIONAL

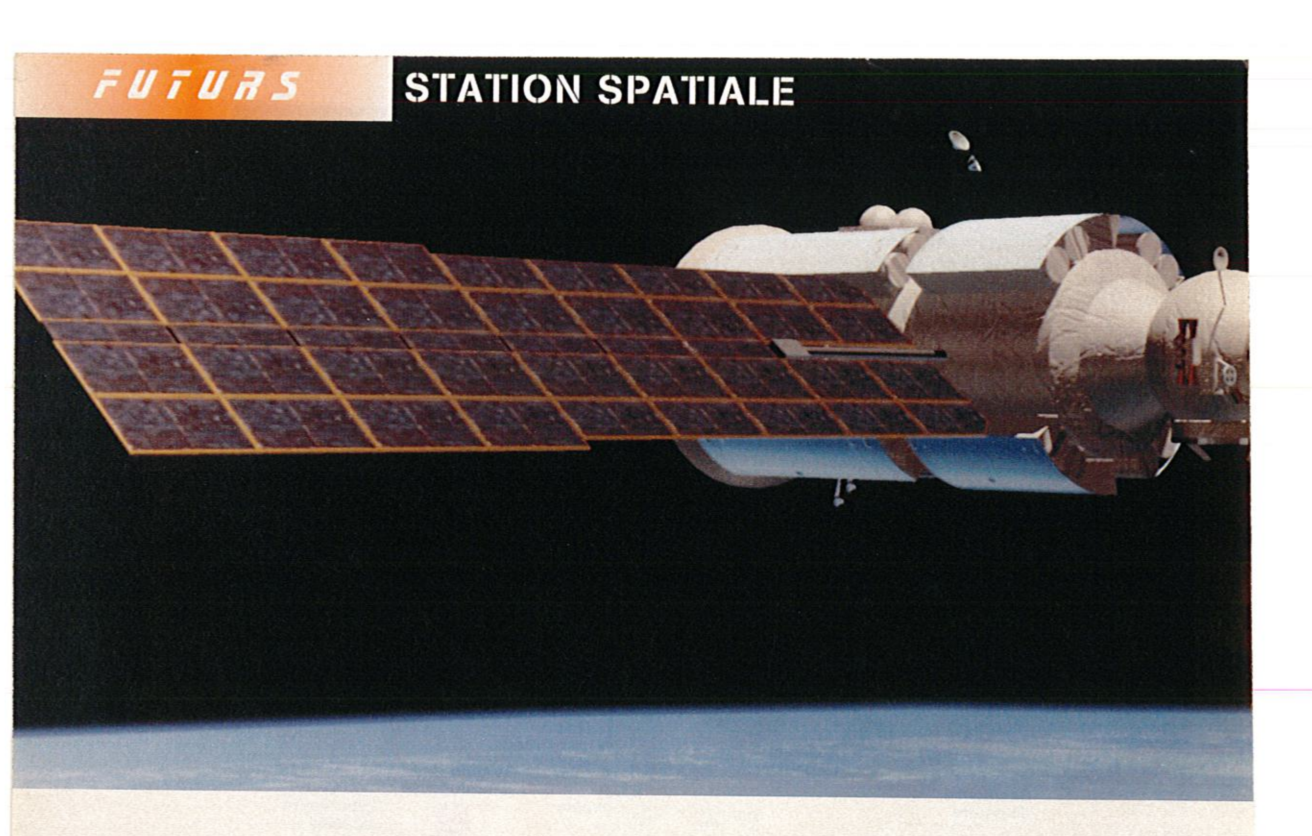
Les premiers éléments de la station spatiale internationale seront russes (en rouge) ou américains (en jaune). Mais, par la suite, Européens (en vert), Canadiens (en bleu) et Japonais (en rose) apporteront leur contribution à ce gigantesque puzzle de l'espace, dont chaque élément doit s'emboîter exactement à l'endroit prévu grâce au travail en orbite des astronautes.

cain Node 1, baptisé Unity, et par les deux sas PMA (*pressurized mating adapters*, sas de raccordement pressurisés) qui lui sont adjoints. Node 1, qu'une navette doit mettre en orbite un mois après le FGB, constitue le nœud de jonction de la station. Quant aux deux PMA, ce sont des interfaces entre les futurs éléments américains et russes, permettant les transferts inter-modules.

Il faudra ensuite attendre cinq mois pour qu'une fusée russe Proton achemine le Service module (module de service) et qu'une navette emporte des matériels et divers *impedimenta*. Le Service module s'amarrera au FGB, à l'opposé du Node 1. Il prendra le relais du module russe pour contrôler l'embryon de station et fournir aux premiers membres d'équipage tout ce qui leur sera nécessaire. Car c'est lui qui les hébergera. Il deviendra alors le principal point d'accostage des vaisseaux de ravitaillement Progress.

Or, les Russes ont pris beaucoup de retard dans la mise au point du Service module, dont on sait depuis plusieurs mois que le lancement sera différé. C'est ce qui a motivé la demande du report du lancement du FGB. En effet, il ne sert à rien de placer en orbite un premier embryon de l'ISS si le Service module n'est pas là pour accueillir très vite les premiers cosmonautes et astronautes.

Du coup, le vol de la navette ■ ■ ■



■ ■ ■ – qui doit avoir lieu à la même période que celui de la fusée Proton et du Service module – offre surtout aux concepteurs de la station une marge de manœuvre, afin de faire face aux aléas de l'entreprise. Si tout se déroule comme prévu à ce stade, la navette emportera des éléments dont l'envoi était initialement programmé pour le courant de 1999.

PRÈS DE MILLE HEURES DE TRAVAIL EN SCAPHANDRE DANS L'ESPACE

Une année charnière, selon le calendrier initial, avec pas moins de huit vols, américains ou russes. Elle verra la mise en place, entre autres éléments, de la poutre verticale (perpendiculaire à l'ensemble FGB, Node 1 et Service module) sur laquelle seront progressivement montés les huit panneaux solaires de 32,8 m x 11,5 m. C'est cette "centrale électrique", d'une puissance de 110 kW, qui alimentera l'immense complexe orbital.

Si le calendrier avait été respecté, les deux premiers panneaux auraient dû être posés en avril 1999, pour entreprendre le plus tôt possible l'exploitation scientifique de la station – à commencer par les premières expériences en microgravité. Ne serait-ce que pour répondre aux griefs portant sur le côté spectaculaire du programme, sur la performance mécanique pure, durant les années d'assemblage, au détriment d'une exploitation plus utile pour les chercheurs internationaux, qui piaffent d'impatience en attendant de pouvoir élire domicile dans l'un des laboratoires de l'ISS.

C'est aussi en janvier 1999 que le premier équipage russo-américain de trois personnes doit s'installer en orbite. Il sera – mais quand? – conduit à pied d'œuvre par un vaisseau Soyouz, qui restera amarré au complexe et servira de véhicule de secours, au cas où il faudrait évacuer rapidement la station.

Ce trio jouera un rôle primordial : celui de monteurs, de mécaniciens de l'espace. Rôle difficile, car, contrairement à ce qui était la règle des programmes spatiaux, cette fois, les manœuvres d'assemblage n'ont pu être répétées au sol, du moins de manière réaliste, compte tenu des dimensions des éléments et de leur dispersion géographique. Les trois premiers occupants auront donc essentiellement pour tâche de tester en orbite les procédures élaborées au sol.

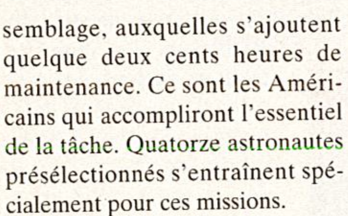
LE "MUR DE L'EVA"

Leur mise en œuvre constitue en effet le défi majeur de l'ISS : revêtus de leurs scaphandres, cosmonautes et astronautes devront sortir et travailler dans l'espace pendant des centaines d'heures. Cette activité "extravéhiculaire" (*extra-vehicular activity*, EVA) a suggéré aux Américains la formule "mur de l'EVA", comme on parlait naguère de "mur du son" pour les avions qui tentaient de franchir cette limite mythique. Pas loin de mille heures d'EVA sont prévues pour les opérations d'as-

Des bases AMÉRICANO-RUSSES

Cette vue d'artiste représente les deux premiers éléments de la future station spatiale internationale. A gauche, le module russe FGB (compartiment de stockage du matériel et du carburant), placé en orbite par une fusée Proton. A droite, le module américain Node 1, raccordé au FGB par l'équipage de la navette Endeavour qui le transportera.

NASA



semblage, auxquelles s'ajoutent quelque deux cents heures de maintenance. Ce sont les Américains qui accompliront l'essentiel de la tâche. Quatorze astronautes présélectionnés s'entraînent spécialement pour ces missions.

Mais le premier examen des difficultés du montage et du raccordement des éléments en orbite aura lieu bien avant que les premiers astronautes installés dans l'embryon de station aient à sortir dans l'espace. Il portera sur la mise en place du module américain Node 1 et sur son assemblage avec le FGB russe. La manœuvre vaut d'être décrite…

Node 1 sera transporté par une navette Endeavour, qui décollera dix jours après la fusée Proton qui placera le FGB en orbite. Il faudra trois jours pour que la navette vienne se placer en bonne position par rapport au FGB. L'astronaute Nancy Currie se servira alors du bras de manipulation pour extraire les 11 tonnes de Node 1 de la soute de la navette, puis pour les placer, le lendemain, sur le système d'arrimage du FGB, avant de verrouiller les deux parties accolées. Manœuvre complexe, qui réclamera à la fois de la précision et du doigté. Le FGB sera en effet fermement maintenu par le bras manipulateur pendant que les moteurs de la navette fourniront l'impulsion nécessaire à l'emboîtage des mécanismes.

Il faudra ensuite raccorder les cordons ombilicaux, connecter les câbles d'alimentation de l'élément russe et de l'élément américain. Ce qui exigera trois jours de travail en EVA pour deux membres de l'équipage d'Endeavour, Jerry Ross et Jim Newman, premiers monteurs de l'ISS. Si tout se passe bien, on envisage même que les deux hommes pénètrent dans le FGB et dans Node 1 pour y transférer certains équipements. Une répétition grandeur nature…

Après quoi, les contrôleurs au sol russes feront basculer le nouvel ensemble (un peu plus de 30 tonnes au total) pour tourner Node 1 vers la Terre et lui imprimer une vitesse de rotation de 0,2 degré par seconde autour de son axe longitudinal. Lente rotation – qu'on compare à celle d'une rôtissoire – dont le but est d'éviter que certaines parties de l'attelage ■ ■ ■



Il faut penser au RETOUR

Les essais du prototype du Crew return vehicle (CRV), le véhicule de retour sur Terre, ont commencé à l'automne 1997. On le voit ici sous l'aile d'un bombardier B-52, qui s'apprête à le larguer afin d'étudier son comportement en vol plané dans l'atmosphère. Les essais du CRV doivent se poursuivre jusqu'en 1999.

■ ■ ■ spatial, exposées en permanence au Soleil, ne s'échauffent tandis que celles maintenues à l'ombre se refroidiraient.

Il s'agit de réguler la température intérieure, sans trop solliciter le système de climatisation ni consommer trop de carburant. Carburant précieux, dans l'attente de l'arrivée du Service module russe, qui, on le voit, conditionne toute la phase initiale du processus d'assemblage. Si l'attente devait se prolonger, un ou plusieurs vaisseaux russes de ravitaillement Progress pourraient d'ailleurs être lancés de Baïkonour pour aller compléter les réservoirs du FGB.

L'ACHÈVEMENT DU CHANTIER SERAIT REPOUSSÉ DE 2003 À 2006

Le retard pris par les Russes dans la réalisation de leurs modules, et surtout du Service module, préoccupe donc les responsables américains de l'ISS. Non seulement parce qu'il rend délicats l'établissement et l'observance du calendrier, mais aussi parce qu'il a des répercussions sur le budget global. Ce qui ne manque pas de sel, quand on se souvient des raisons pour lesquelles les Russes ont été conviés à rejoindre le club des partenaires de l'ISS...

Car les Russes ont été associés au projet américain initial de la station Alpha, elle-même dérivée de la mirifique station Freedom de 1993. Dans l'esprit des dirigeants de la NASA, en faisant appel au savoir-faire et aux moyens de l'ex-URSS en matière spatiale, ils pouvaient réduire le coût de la station en raccourcissant les délais de réalisation. La NASA avait calculé qu'on gagnerait quinze mois, ce qui permettait d'économiser 1,6 milliard de dollars (près de 10 milliards de francs).

En réalité, cette économie virtuelle a fondu au fil des ans. On en est aujourd'hui à chiffrer les dépassements... La NASA a dû piocher dans des crédits initialement prévus pour des programmes purement scientifiques, à hauteur de 426 millions de dollars, ce qui n'est pas fait pour apaiser les adversaires de l'ISS.

LES INCERTITUDES DU CALENDRIER

Selon un rapport rédigé à la demande de la NASA par un expert indépendant, Brad Parkinson, l'achèvement de la station devra être repoussé vers 2006 (au lieu de 2003). Les difficultés du projet ont été nettement sous-estimées, écrit Parkinson. La mise au point des logiciels de bord, celle des procédures d'assemblage en orbite, la réalisation des laboratoires et des modules, l'entraînement des futurs occupants de la station constituent autant de pierres d'achoppement. Mais, souligne Brad Parkinson, « la principale menace qui pèse sur l'ISS tient aux incertitudes du calendrier provoquées par le mal qu'ont les Russes à tenir leurs engagements ».

Cette opinion est vigoureusement combattue par un ancien de la NASA, Bill Wisecarver, dans une lettre ouverte publiée par le magazine américain *Aviation Week*



NASA

Un MODULE pour TROIS

La réalisation du module de service, où logeront les trois premiers occupants de la station internationale, a été confiée aux Russes. Ci-contre, l'astronaute américaine Susan J. Helms l'inspecte lors d'une récente visite à Moscou. Ci-dessus, l'équipage se prépare à l'éventualité d'un amerrissage accidentel du vaisseau Soyouz...



ISS, on court à la catastrophe, la NASA pompant des ressources qui feront défaut aux programmes scientifiques et techniques. Une accusation qui n'est guère éloignée de celle des adversaires de l'ISS, Claude Allègre en tête… Du point de vue de Wisecarver, charger les Russes de tous les maux ne saurait être qu'une fausse excuse, un camouflage de l'incurie des responsables, une moyen détourné de réclamer des crédits supplémentaires.

Quand Wisecarver travaillait pour la NASA, il avait calculé que chaque mois de retard entraînait une augmentation de 2 % du coût global. On comprend que ses supérieurs n'aient guère goûté ses observations… Du moins fournit-il une bonne base de calcul pour évaluer la facture du report à 2006 que prévoit Brad Parkinson… ■

Un STUDIO en orbite

A partir de 2002, c'est dans un module d'habitation comme celui-ci (photo du bas) que les astronautes américains mangeront et dormiront : il mesure 8,50 m de long et 4,20 m de diamètre. En attendant le jour J, les astronautes s'entraînent en piscine à l'absence de pesanteur (photo du haut).

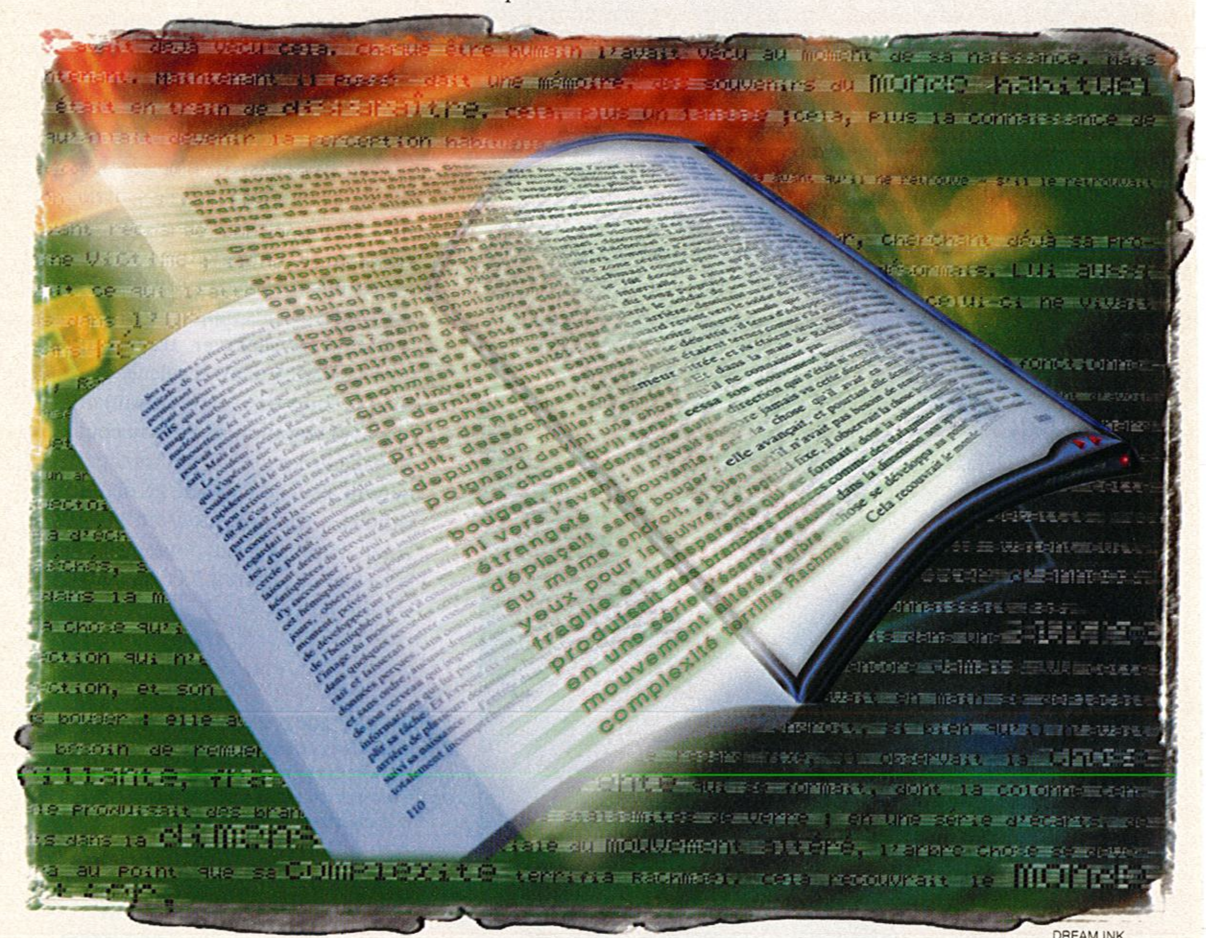
NASA

BOEING

and Space Technology. Financier de formation, Wisecarver a travaillé pour l'agence spatiale des Etats-Unis en 1996 et 1997. Il a été poliment remercié pour avoir rédigé un rapport qui stigmatisait les errements de l'administration dans la gestion du projet ISS.

Selon lui, les retards et les dépassements budgétaires ne sont pas imputables aux constructeurs – pas même aux Russes. Ils sont le fait de la NASA en particulier et de la bureaucratie en général. Faute de placer de vrais gestionnaires, au sens commercial du terme, à la tête du projet

par Leïla Haddad



DREAM INK

Le livre bibliothèque

Entre Gutenberg et Internet, plus besoin de choisir… Le livre électronique allie le plaisir de la page imprimée à la quête à volonté dans la bibliothèque de son choix.

Avis aux lecteurs désespérés devant les piles de livres qui prennent la poussière sur leurs rayonnages : il est désormais possible de les remplacer par un unique exemplaire, qui n'occupe pas plus de place que le volume négligemment jeté sur la table de chevet.

Le livre bibliothèque est une invention du Pr Joseph Jacobson, du Massachusetts Institute of Technology. Il a l'allure rassurante d'un volume de format standard, d'une épaisseur raisonnable (il ne compte que deux cents pages). Certes, il est un peu cher – de 300 à 600 F.

A y regarder de plus près, cet objet n'a rien de commun avec ses classiques congénères : il ne contient pas une goutte d'encre. Le papier, dit "digital", est recouvert de particules sensibles au courant électrique et qui possèdent deux pôles, un noir et un blanc. En fonction de l'impulsion qui leur est donnée, elles présentent l'un ou l'autre de leurs pôles. L'agencement des particules dans la page dessine les lettres.

Pour transformer un B en C, par exemple, il suffit d'envoyer aux particules

dont l'agencement correspond à un B l'impulsion qui leur ordonne de s'effacer au profit de la nouvelle lettre.

Grâce à cette "encre" électronique, on peut donc écrire une infinité de textes sur la même page. Ces derniers sont stockés dans la mémoire d'un ordinateur, caché dans la tranche du livre. Un curseur permet de choisir un titre, et ordre est donné à l'encre électronique de s'aligner en fonction du contenu du livre choisi.

Peter Pan, la Bible ou *les Contemplations* : le lecteur zappe d'une œuvre à l'autre au gré de son humeur. Une fois le stock de lecture épuisé, il peut recharger son livre en se connectant, *via* Internet, aux librairies spécialisées.

EXTRATERRESTRES

L'union fait la force

La Terre à l'écoute des extraterrestres… Cette formule pourrait se concrétiser si David Anderson, de l'université de Californie, à Berkeley, mène à bien son projet : le SETI@Home.

Le chercheur souhaite que 80 000 ordinateurs américains, dotés des logiciels adéquats, l'aident à décoder les bruits de l'espace que capte le radiotélescope d'Arecibo (Porto Rico). Son espoir : repérer la trace d'un murmure dont l'origine serait intelligente.



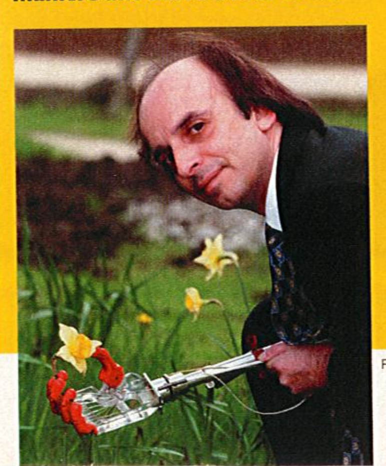
Le radiotélescope d'Arecibo, à l'écoute des "bruits" de l'espace.

D. PARKER/ SPL/COSMOS

PROTHÉTIQUE

LA MAIN BIONIQUE

Le Dr Homer Rahnejat, de l'université de Bradford (Grande-Bretagne), épaulé par des chercheurs de l'université de Greenwich (Grande-Bretagne), a conçu une main bionique capable de reproduire les mouvements de la main humaine. On ne saisit pas de la même manière une barre de fer et un œuf; le va-et-vient permanent d'informations entre les milliers de terminaisons nerveuses situées sous la peau et le cerveau permet d'ajuster les mouvements. Cette main artificielle est dotée de capteurs de pression qui la font réagir "instinctivement". Grâce à cette sensibilité, un amputé peut cueillir une fleur sans avoir à maîtriser les mouvements des muscles du cou qui font fonctionner la prothèse. Le chercheur travaille aussi à un "neurosynthétiseur", qui permettrait aux muscles d'interpréter les signaux envoyés par les capteurs de la main et de réagir en conséquence.



Une main artificielle assez "sensible" 1pour cueillir une fleur.

R. PARRY

Assurance contre le rapt

A Taiwan sévit une épidémie de kidnappings d'une telle ampleur que des compagnies commencent à proposer des assurances contre le rapt. Pour, au minimum, 8000 dollars (48000 F) par mois, elles remboursent de 500000 à 3,5 millions de dollars par an en cas de kidnapping, de chantage ou de tentative d'extorsion. Certains assureurs vont même jusqu'à offrir leurs services lors des négociations… Pour faire baisser la rançon ?

AÉRONAUTIQUE

L'avion dans l'espace



Un jet qui "crache" un petit vaisseau spatial hors de l'atmosphère terrestre.

DR

Un "avion-éjecteur", la voilà, la grande idée! C'est du moins ce que pense la compagnie aéronautique américaine Space Access LLC.

L'engin a la silhouette élancée des avions futuristes des années 60. C'est un jet qui décolle à l'horizontale et atteint très vite une vitesse considérable (plusieurs fois celle du son). Il quitte l'atmosphère terrestre en s'aidant de fusées et ouvre alors sa gueule comme un alligator. Il en jaillit un petit vaisseau, qui allume ses moteurs et place son chargement sur orbite. Puis l'hypersonique et le module regagnent la Terre, où ils se posent en douceur.

D'après ses concepteurs, ce lanceur serait plus rentable que les fusées et autoriserait un plus grand nombre de missions.

ENERGIE

Le carburant des plantes

Les plantes utilisent les rayons solaires pour synthétiser une substance, l'adénosine triphosphate (ATP), dont elles tirent l'énergie nécessaire à leur croissance : c'est le processus de la photosynthèse.

Une équipe de chimistes de l'université de l'Arizona a réussi à fabriquer de l'ATP en exposant à la lumière une membrane artificielle imbibée d'enzymes. Cette énergie à 100 % renouvelable n'a pas encore trouvé preneur, mais rien n'exclut qu'elle puisse servir un jour de combustible à des cellules artificielles pour produire des molécules utiles.



On a réussi à fabriquer artificiellement l'énergie qui fait pousser les plantes (ici, une feuille de rosier).

A.SYRED/SPL/COSMOS

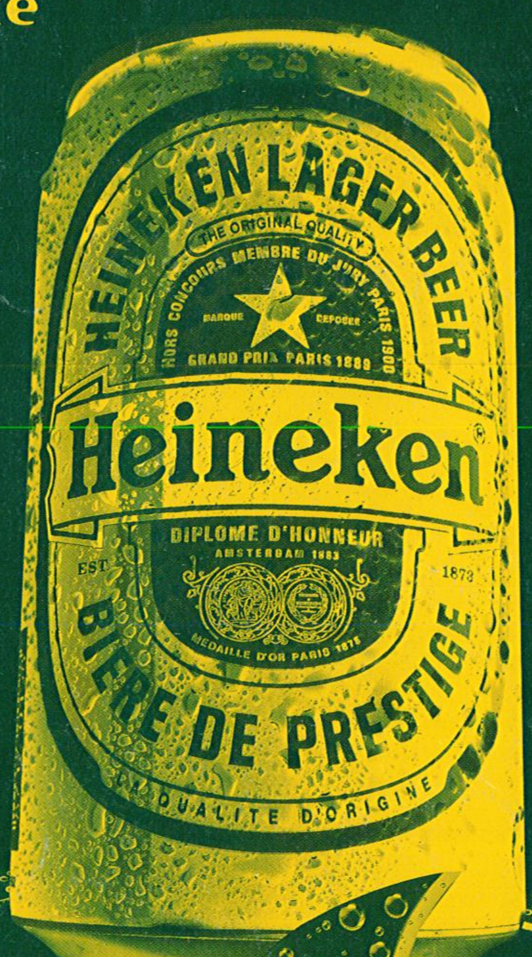
La Terre sous contrôle

Un battement d'ailes de papillon... La suite est connue. Les catastrophes naturelles, comme les cyclones ou les séismes, sont imprévisibles. Elles mettent en jeu un nombre considérable de facteurs, qu'il faudrait pouvoir tous prendre en considération pour prédire l'évolution de l'atmosphère ou celle de la croûte terrestre. Or, la masse de données à traiter a fait jeter l'éponge aux plus puissants ordinateurs. L'institut japonais des sciences et des technologies relève le défi, avec un projet de "Terre virtuelle". Il s'agit ni plus ni moins que de mettre au point "le" supercalculateur, capable d'effectuer les dizaines de milliards d'opérations par seconde nécessaires à la modélisation du comportement de la planète. En simulant la dérive des continents, un tel calculateur peut prévoir où et quand se produiront les séismes. En analysant les échanges eau-atmosphère, il met l'homme à l'abri des caprices d'un El Niño.

Directeur de la publication : Paul Dupuy. Dépôt légal n° 84007. N° de commission paritaire : 57284 du 15 décembre 1975.
Printed in Italy. Photogravure : Goustard. Imprimerie : Rotocalcografica Italiana.

Heineken
l'esprit bière

Ouverture imminente



L'ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA SANTÉ. À CONSOMMER AVEC MODÉRATION.